



ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

-

Trabajo Fin de Grado

Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE UN SENSOR INDUSTRIAL PARA LA DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS

Autor: Miguel Ángel Rosado Rodríguez

Director del TFG: Antonio Aznar Jiménez

Resumen

El agua es un recurso fundamental para la actividad humana y para la vida en general. Es por ello que el tratamiento de las aguas residuales es una tarea crucial para conservar la calidad de los recursos hídricos y preservar el medio ambiente. Uno de los parámetros para la evaluación de la calidad de aguas es la carga orgánica que contiene, la cual puede ser expresada mediante la demanda química de oxígeno (DQO). Actualmente la normativa para la determinación de este parámetro hace referencia al método del dicromato, sin embargo existen equipos industriales capaces de estimarlo en relación al coeficiente de absorción espectral (CAE).

Se realiza una valoración exhaustiva del método espectrométrico para el cálculo de la carga orgánica presente en aguas residuales, así como del sensor CarboVis y sus características. Se trata de una sonda que realiza un barrido espectral entre 200 y 720 nm para determinar la cantidad de materia orgánica mediante un algoritmo multicriterio. De esta forma se puede afirmar que es una potente alternativa al método normalizado, permitiendo el control del proceso de forma continua y obteniendo resultados fiables. No obstante, es un campo por desarrollar y sería conveniente realizar un estudio más profundo sobre el funcionamiento de este tipo de sensores en aguas residuales.

Abstract

Water is an essential resource for human activity and life in general. That is why the treatment of wastewater is crucial to preserve the quality of water resources and preserve the environment. One of the parameters for evaluating the quality of water is the content of organic load, which can be expressed by the chemical oxygen demand (COD). Currently the standards to determine this parameter refer to the dichromate method, however there are industrial equipments able to estimate it respect to the spectral absorption coefficient (SAC).

A comprehensive assessment of the spectrometric method for calculating the organic matter in wastewater is performed, as well as the sensor CarboVis and its characteristics. It is a probe that performs a spectral scanning between 200 and 720 nm to determine the amount of organic matter by a multi-criteria algorithm. Thereby we can say that is a powerful alternative to the standard method, allowing process control continuously and obtaining reliable results. Nevertheless, it is a field to develop and further study on the operation of this type of sensors in wastewater.

Índice de contenidos

1	Introducción	6
2	Objetivos y metodología.....	7
3	Fundamento teórico	8
3.1	Parámetros para la determinación de concentración de materia orgánica disuelta en agua	8
3.1.1	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	8
3.1.2	Demanda química de oxígeno (DQO)	8
3.1.3	Carbono orgánico total (COT)	9
3.1.4	Carbono orgánico disuelto (COD)	9
3.2	Espectroscopía de absorción molecular	9
3.2.1	Introducción	9
3.2.2	Ley de Lambert-Beer	10
3.2.3	Interacción materia-radiación electromagnética	12
4	El sistema IQ SENSOR NET.....	15
4.1	Introducción al sistema	15
4.2	Instalación del sistema	16
4.3	Conexionado del sistema	18
4.4	Estructura del sistema / Ventajas de un sistema digital y modular	21
4.5	Terminales/controladoras del sistema IQ Sensor Net	22
4.5.1	MIQ/C184 XT	22
4.5.2	MIQ/T2020	23
4.6	Módulos del sistema IQ Sensor Net.....	24
4.6.1	MIQ/PS	24
4.6.2	MIQ/CR3	26
4.6.3	MIQ/CHV	27
4.6.4	MIQ/VIS	30
4.6.5	MIQ/IF232	31
4.7	Sensor CarboVis 700/5 IQ	32
4.7.1	Introducción a la medición de carbono	32
4.7.2	Principio de funcionamiento de la sonda espectrométrica	34
4.7.3	Estructura del sensor	34
4.7.4	Características	35
4.7.5	Instalación.....	36
4.7.6	Configuración del sensor en el terminal del sistema.....	38

4.7.7 Determinación de valores de medida	40
4.7.8 Factores que pueden afectar a los valores de medida	41
4.7.9 Calibración	42
4.7.10 Mantenimiento y limpieza	44
4.7.11 Medidas reales.....	46
5 Alternativas al sensor Carbovis de IQ Sensor Net.....	50
5.1 UVAS plus sc	50
5.2 Spectro::lyser	50
5.3 Comparativa	51
6 Conclusiones	53
7 Bibliografía.....	55

1 Introducción

El agua es un elemento fundamental en el equilibrio medioambiental así como en la propia actividad humana. Hacemos uso de ella en el ámbito doméstico, en el ámbito de la agricultura, la pesca y en el mundo industrial, entre otros. Es habitual el uso industrial del agua, ya sea como elemento de refrigeración, como materia prima, para el lavado o aclarado de productos, etc. Muchos de estos usos nos permiten devolver agua al medio, pero debemos asegurarnos de poder garantizar la calidad adecuada.

Uno de los factores importantes a tener en cuenta es la presencia de materia orgánica que, de ser degradable, podría consumir el oxígeno presente en el agua durante el proceso de degradación. Si esa materia orgánica en descomposición fuese a parar a un agua acumulada y acabase con todo el oxígeno disponible, comenzaría un proceso anaeróbico de degradación, con la desaparición de la vida animal y la aparición de productos propios de la descomposición.

Estos deshechos orgánicos se incorporan al ciclo hídrico a través de vertidos tanto urbanos como industriales, agrícolas y ganaderos, junto a compuestos ricos en fosfatos y nitratos, detergentes y fertilizantes, por ejemplo. Esta adición de nutrientes es lo que se denomina eutrofización, que produce un aumento de determinados organismos (como las algas verdes unicelulares) y perjudica la diversidad. Si el agua sufre una fuerte eutrofización podría acabarse completamente con el oxígeno presente y así, con toda la vida que alberga.

La legislación actualmente viene marcada por la Directiva 91/271/CEE del Consejo Europeo, que establece normas de recogida, tratamiento y vertido de aguas residuales para toda la Unión Europea, y que está destinada a proteger los ecosistemas acuáticos y los recursos hídricos de las repercusiones negativas (como la eutrofización) que producen las aguas residuales urbanas. Esta ley abarca las aguas residuales generadas por industrias como la agroalimentaria (de transformación de alimentos o fabricación de cerveza, por ejemplo).

2 Objetivos y metodología

Para llevar a cabo la evaluación de un sensor industrial para la determinación de materia orgánica en aguas vamos a exponer, en primer lugar, los conceptos necesarios para el análisis del carbono así como la fundamentación teórica en que se basa el funcionamiento de la sonda. Después expondremos las características del sistema IQ Sensor Net, necesario para el uso del sensor CarboVis del fabricante WTW, así como toda la información necesaria para su instalación, calibración, uso y mantenimiento. También estudiaremos algunas de las alternativas industriales a este sistema y las principales diferencias que existen con la sonda de WTW. Por último, realizaremos una serie de conclusiones respecto a la evaluación así como una exposición de las posibles mejoras que se pudieran efectuar.

3 Fundamento teórico

3.1 Parámetros para la determinación de concentración de materia orgánica disuelta en agua

Los métodos de medición de la contaminación orgánica en el agua son diversos según el parámetro que estudiemos. Los más importantes son los siguientes:

3.1.1 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Es la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos aerobios oxiden la materia orgánica presente en el agua. Se determina por diferencia entre el oxígeno disuelto en un inicio y pasado un determinado tiempo. Es un parámetro que varía de forma importante con el tiempo de incubación de la muestra, por lo que se suele determinar una vez al cabo de 5 días (DBO₅) y otra transcurridas 3 o 4 semanas (DBO_{ult}).

3.1.2 Demanda química de oxígeno (DQO)

Además del tiempo requerido, la demanda bioquímica de oxígeno tiene el inconveniente de no tener en cuenta la materia orgánica difícilmente biodegradable. En cambio, la demanda química de oxígeno evalúa el oxígeno necesario para oxidar la materia presente en el agua a través de un oxidante químico, normalmente dicromato potásico. El dicromato sobrante de la oxidación de la materia orgánica se evalúa mediante un agente reductor. La diferencia entre la cantidad inicial y la determinada por valoración con el agente reductor es la consumida en la oxidación de la materia orgánica presente en la muestra.

La determinación de la demanda química de oxígeno está regulada por la norma UNE 77004/2002 de la AENOR, realizándose a través del método del dicromato.

3.1.3 Carbono orgánico total (COT)

El carbono orgánico total es la cantidad de carbono que contienen los compuestos orgánicos no volátiles. Es el material derivado de la descomposición de las plantas, el crecimiento bacteriano y las actividades metabólicas de los organismos vivos, o de compuestos químicos.

Para su determinación se introduce la muestra en una cámara de combustión en presencia de un catalizador. Se puede calcular el carbono orgánico total a partir del análisis infrarrojo del dióxido de carbono producido en la combustión.

3.1.4 Carbono orgánico disuelto (COD)

El COD es la fracción del COT que pasa a través de un filtro con diámetro de poro de 0,7 μm y a la cual se le elimina el carbono inorgánico por acidificación y aireación.

3.2 Espectroscopía de absorción molecular

3.2.1 Introducción

Como hemos explicado, estos parámetros requieren determinados procesos de incubación, instrumentos adecuados, así como determinados tiempos. Por eso vamos a usar un método más sencillo para determinar el contenido en materia orgánica, mediante la medición del coeficiente de absorción espectral (CAE). Éste representa la parte de radiación electromagnética que es emitida pero no recibida, es decir, la radiación absorbida por la muestra en un determinado rango de frecuencias. Es lo que se conoce como absorbancia. Cada elemento químico tiene líneas de absorción características, debido a las diferencias de energía de sus distintos orbitales atómicos, lo cual es la base de funcionamiento de la sonda de carbono utilizada en el presente trabajo.

Debido a que la contaminación orgánica del agua puede deberse a la presencia de multitud de elementos y compuestos diferentes, usaremos un sensor espectrométrico que trabaja en un

determinado rango de longitudes de onda, permitiendo incluir distintos tipos de contaminación orgánica según su composición.

3.2.2. Ley de Lambert-Beer

La ley de Lambert-Beer relaciona ciertos parámetros espectroscópicos de tal forma que nos sirve como fundamento teórico para cualquier proceso de espectroscopía.

Esta ley física enuncia lo siguiente:

$$A = \varepsilon \cdot l \cdot c$$

Donde A es la absorbancia, ε es el coeficiente de absorptividad (siendo molar si se expresa en mol/L), l es la longitud del paso óptico en el que se contiene la muestra y que es atravesado por la radiación, y c la concentración (que puede ser expresada en mol/L o en mg/L).

Mediante la ley de Lambert-Beer relacionamos proporcionalmente la concentración de un analito presente en la muestra con la absorbancia de dicha disolución, siendo esta relación en la que se basa el funcionamiento de nuestra sonda a evaluar.

Existen diversos factores que pueden provocar desviaciones en la ley que estudiamos, de forma que el resultado de nuestra sonda se puede ver afectado a la hora de dar datos exactos sobre la concentración de un analito, alejándose del comportamiento teórico.

Desviaciones en la ley de Lambert-Beer

Existen cuatro tipos de desviaciones: reales, instrumentales, químicas y personales.

Reales:

- Variación en el índice de refracción: La ley de Beer no tiene en cuenta que la absorptividad depende del índice de refracción, n .

$$\epsilon = \frac{\epsilon_{\text{verdadero}} \cdot n}{(n^2 + 2)^2}$$

- Interacciones moleculares: Variación de la distribución de carga debido a interacciones con las moléculas vecinas que varía la absorción a una determinada λ . Estas interacciones aumentan al aumentar la concentración de analito en disolución. También se observa si hay concentraciones altas de otras especies.

Instrumentales:

- Radiación no monocromática: Si las absorptividades de los extremos de la banda de la radiación incidente son grandes, se producen desviaciones de la linealidad, y por el contrario, si las absorptividades de los extremos de la banda de la radiación incidente son pequeñas, no se producen desviaciones de la linealidad.
- Radiación parásita: radiación que proviene del instrumento que está fuera de la banda de λ seleccionada. Resultado de la dispersión y reflexión desde superficies de redes, lentes, filtros y ventanas. Normalmente la λ difiere de la radiación principal y podría no haber atravesado la muestra.
- Errores de lectura: La transmitancia óptima, con menor error de lectura, corresponde a 36,8 %, que equivale a una absorbancia de 0,434 ya que la transmitancia y la absorbancia son inversamente proporcionales.
- Anchura de la rendija del receptor: a menor anchura de la rendija conseguimos una mayor precisión en el espectro pudiéndose observar la estructura fina de algunas moléculas, la cual se pierde al aumentar la anchura de la rendija.

Químicas:

- Influencia del equilibrio ácido-base: dependiendo del grado de disociación de la especie a analizar obtendremos distintas absorbancias, debido a que las especies disociadas por separado absorben radiaciones a distinta longitud de onda que la especie sin disociar.
- Influencia del disolvente: dependiendo del disolvente empleado, la longitud de onda a la que absorbe el analito puede verse desplazada hacia la zona del ultravioleta, es decir, a longitudes de onda menores (desplazamiento hipsocrómico), o hacia la zona del infrarrojo, es decir, a longitudes de onda mayores (desplazamiento batocrómico). Estos desplazamientos son debidos a la estructura química del disolvente y a las posibles interacciones de éste con el analito.

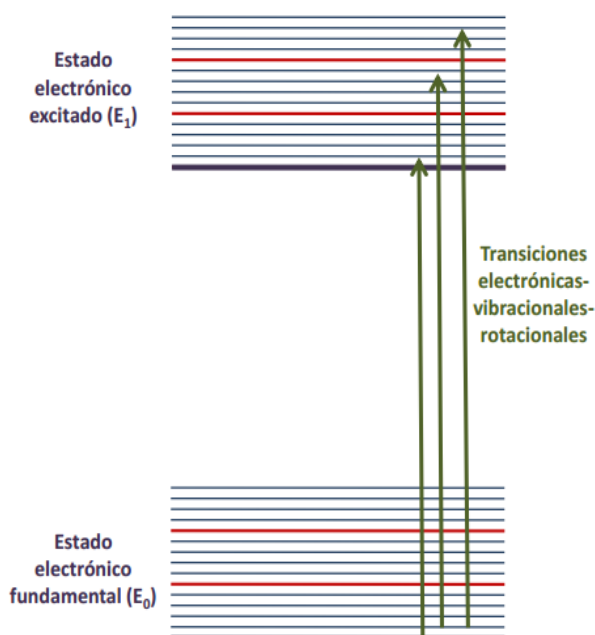
Personales: debidas a los posibles errores sistemáticos cometidos por el operario de laboratorio, el operario de la sonda en este caso.

3.2.3 Interacción materia-radiación electromagnética

Este tipo de interacciones son las que originan el proceso de absorción molecular. Para que una especie absorba radiación tienen que existir posibles transiciones electrónicas dentro de su estructura molecular.

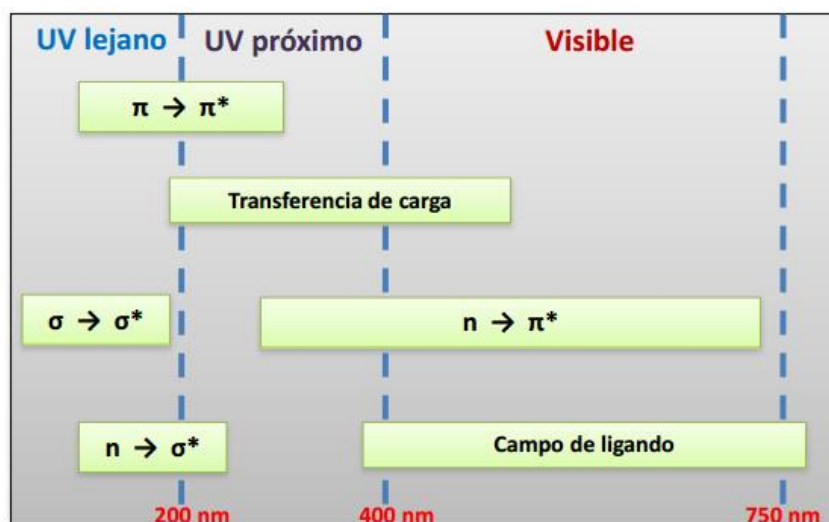
Condiciones de absorción de radiación

- Interacciones entre el campo eléctrico de la radiación y alguna carga eléctrica de la materia.
- La energía del fotón absorbido debe ser discreta.



Tipos de transiciones electrónicas

Como podemos observar en el siguiente diagrama, existen diferentes transiciones electrónicas entre los orbitales moleculares dependiendo de la longitud de onda de la radiación absorbida.



Siendo:

- ❖ σ : orbital molecular más bajo en energía y responsable de los enlaces sencillos moleculares.
- ❖ π : orbital molecular más alto en energía que el anterior y responsable de los enlaces dobles y triples en la molécula.
- ❖ σ^* : semejante al orbital σ pero con carácter antienlazante (superior en energía)
- ❖ π^* : semejante al orbital π pero con carácter antienlazante (superior en energía)
- ❖ n : orbital de la capa de valencia, es decir, el orbital ocupado por electrones más alto en energía.

El campo de ligando y la transferencia de carga son procesos físico-químicos más complejos, que también producen absorción de radiación electromagnética, en los que no vamos a profundizar.

Transiciones $\sigma \rightarrow \sigma^*$: Se produce a longitudes de onda inferiores a 200 nm (UV lejano o de vacío).

Absorben N_2 (160 nm) y O_2 (200 nm).

Absorben hidrocarburos saturados (C-H). El metano (CH_4) presenta máximos de absorción a 125 nm y el etano ($CH_3 - CH_3$) a 135 nm.

Transiciones $n \rightarrow \sigma^*$: Se produce a longitudes de onda del UV lejano.

Absorben compuestos saturados conteniendo heteroátomos de O, N, S o halógenos.

Por lo general tienen absorptividades pequeñas (poca absorción).

Al aumentar la electronegatividad del heteroátomo la longitud de onda disminuye.

Los compuestos saturados que contienen O absorben a longitudes menores de 200 nm, esto implica que disolventes habituales como H₂O o EtOH (alcoholes en general) puedan utilizarse como disolventes en el UV próximo y en el visible.

Transiciones $n \rightarrow \pi^*$ y $\pi \rightarrow \pi^*$: las primeras se producen a longitudes de onda comprendidas entre el visible y el UV próximo, y las segundas se producen a longitudes de onda inferiores, entre el UV lejano y el UV próximo.

Por último, sería importante señalar algunos factores que también pueden influir en la intensidad de absorción, debido a la presencia de algunas especies en disolución:

- ❖ Grupos cromóforos: Grupos de átomos responsables de la absorción de radiación en el UV-visible.
- ❖ Grupos auxocromos: Agrupaciones atómicas que por sí mismas no comunican color a la molécula que pertenecen, pero son capaces de reforzar la acción de un cromóforo.
- ❖ Efecto hipercrómico: Aumento de la intensidad de la absorción.
- ❖ Efecto hipocrómico: Disminución de la intensidad de absorción.

4 El sistema IQ SENSOR NET

4.1 Introducción al sistema

IQ Sensor Net es un sistema modular y multiparamétrico de medición in situ orientado a plantas depuradoras y aplicaciones industriales. La red modular permite conectar diferentes sensores IQ, por lo que el sistema IQ Sensor Net puede realizar diversas mediciones precisas en el medio continuo. IQ Sensor Net es adecuado tanto para la instrumentación convencional con salidas analógicas como para la instrumentación con uso de bus de campo, y dispone en todo caso de una interfaz digital.

El modelo con que vamos a trabajar se trata del Sistema 184 XT de IQ Sensor Net. Este posee hasta 12 entradas o posibles sensores conectados. Algunos de ellos permiten la medida de parámetros como el pH, el potencial REDOX, el oxígeno, la temperatura, la turbidez y sólidos en suspensión, el amonio, nitratos o la DQO.

Las principales unidades funcionales del sistema IQ SENSOR NET 184 XT incluyen:

- Terminal / Controlador.
- Módulos MIQ.
- Sensores IQ.
- Entradas (Entradas de corriente).
- Salidas (Contactos de relé, salidas de corriente, válvula de salida).
- Terminales adicionales (PC).

IQ Sensor Net incorpora algunas medidas de seguridad con el fin de garantizar el funcionamiento a prueba de fallos. Algunas de ellas son la protección integrada en cada uno de los componentes ante rayos o subidas de tensión, estado programable en caso de error, reinicio automático en caso de fallo de alimentación eléctrica o un software propio capaz de almacenar, conservar, documentar y restaurar la configuración del sistema.

4.2 Instalación del sistema

Respecto a la instalación, resulta relativamente simple ya que usa tecnología de conexión de dos hilos y los sensores IQ se conectan usando “Plug & Play”. Además es un sistema muy flexible, pues admitiría una posible expansión añadiendo otros módulos o sensores, así como instalar componentes donde sea necesario.

Para realizar la instalación eléctrica debemos calcular tanto la potencia requerida por los sensores, módulos y terminales así como la potencia de que dispondremos para nuestro sistema. Para ello contamos con la siguiente tabla técnica del sistema IQ Sensor Net (ver página siguiente):

Configuration and performance data

Model	Description	System 184 XT Number Min/Max	System 2020 XT Number Min/Max	Power- consumption / output / W
IQ Sensors		1/12**	1/20**	
SensoLyt® 700 IQ	pH / ORP assembly			⇒ 0.2
TriOxmatic® 700 IQ	D.O. sensor			⇒ 0.2
TriOxmatic® 701 IQ	D.O. sensor			⇒ 0.2
TriOxmatic® 702 IQ	D.O. sensor			⇒ 0.2
TetraCon® 700 IQ	Conductivity sensor			⇒ 0.2
VisoTurb® 700 IQ	Turbidity sensor			⇒ 5.0
ViSolid® 700 IQ	Suspended Solids sensor			⇒ 2.0
AmmoLyt® 700 IQ	Ammonium assembly (ISE)			⇒ 0.2
NitraLyt 700 IQ	Nitrate assembly (ISE)			⇒ 0.2
NitraVis® 700/X IQ (TS)	Optical nitrate probe with connection module MIQ/VIS			⇒ 7.0
CarboVis® 700/5 IQ (TS)	Optical COD/TOC/DOC/BOD/SAC probe with connection module MIQ/VIS			⇒ 7.0
NiCaVis® 700/5 IQ	Optical probe for measurement of nitrate and COD/TOC/DOC/BOD/SAC, with connection module MIQ/VIS			⇒ 7.0
Modules with x numbers of IQ SENSOR NET terminal connections				
Connection modules		1/3	1/3	
MIQ/PS	IQ / power supply module for input power with wide-range power supply unit for 90 - 264 VAC input voltage ③			18 ⇒
MIQ/PS PLUS	as MIQ/PS, with more power ②			30 ⇒
MIQ/24V	IQ / 24 V module for input power with 24 VAC or 24 VDC input voltage ③			18 ⇒
Output modules		0/6	0/8	
MIQ/CR3	IQ / current relay 3 module, with 3 analog outputs and 3 relay outputs each ②			⇒ 3.0
MIQ/C6	IQ / current 6 module with 6 analog outputs ②			⇒ 3.0
Connection- and branching modules				
MIQ/JB	IQ / junction box module ④	0/15	0/25	⇒ 0.1
MIQ/JBR	IQ / junction box repeater module ② + ②	0/2	0/2	⇒ 0.2
Power input connection module				
MIQ/IC2**	IQ / input current 2, module with 2 inputs for 0 / 4 - 20 mA signals ②	**each occupied current input is counted as IQ sensor		⇒ 0.2*
Magnetic valve module				
MIQ/CHV	Modul IQ / Cleaning Head Valve for automatically controlled air cleaning ①	0/12	0/20	⇒ 2.0
Terminal, Controller				
Terminal / Controller System 184 XT		1/1	not possible	
MIQ/C184 XT	Terminal / controller for System 184 XT			⇒ 3.0
Terminal System 184 XT and 2020 XT		0/2	1/3	
MIQ/T2020	Terminal System 2020 XT / 184 XT			⇒ 3.0
MIQ/T2020 PLUS	as MIQ/T2020, with redundant controller function			⇒ 3.0
MIQ/IF232	IQ / software terminal module ③			⇒ 0.2
Controller System 2020 XT		not possible	1/1	
MIQ/MC(-A)(-RS)	Modul IQ / Micro Controller ②			⇒ 1.5
MIQ/MC(-A)-PR	Modul IQ / Micro Controller with PROFIBUS- or Modbus-Option ②			⇒ 3.0
For further information see brochure "Product Details"				

A partir de la tabla anteriormente expuesta, podemos calcular el saldo total de potencias:

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN	CONSUMO/SUMINISTRO DE ENERGÍA
MIQ/PS	Módulo fuente de alimentación (potencia de entrada)	+18W
MIQ/C184 XT	Terminal / controladora del sistema 184XT	-3W
CarboVis 700/5 IQ	Sonda óptica DQO, COT, COD, DBO, CAE	-7W (-6.5W)
MIQ/CR3	Módulo de 3 salidas analógicas y 3 relés	-3W
MIQ/CHV	Válvula para cabezal de limpieza automática	-2W
MIQ/IF232	Terminal de software	-0,2W
SALDO TOTAL DE POTENCIAS		+2,8W

Podemos comprobar que con un único módulo de alimentación MIQ/PS introducimos la potencia necesaria para hacer funcionar todos los componentes necesarios para esta instalación.

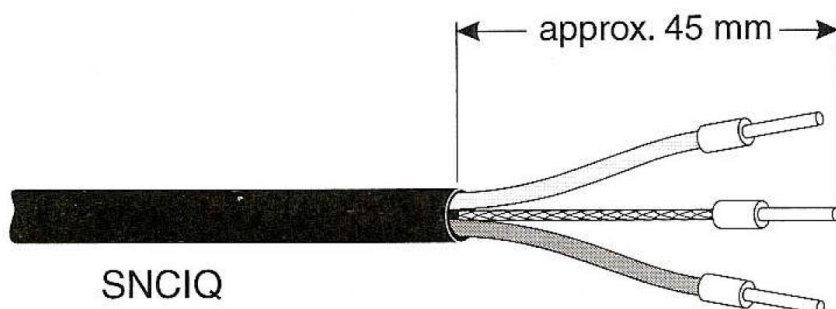
De acuerdo con las indicaciones del fabricante, también debemos considerar las pérdidas de potencia que se producen en el cableado si superamos los 400 metros cable total en la instalación, teniendo que considerar pérdidas por el valor de un watio (-1W) cada 100 metros adicionales. En nuestro caso el conexionado del sistema que vamos a usar no alcanza tal longitud, así que podremos despreciar las pérdidas de potencia que pudieran tener lugar.

4.3 Conexionado del sistema

Las conexiones eléctricas para unir los diferentes elementos o componentes de nuestro sistema podrán darse de tres maneras:

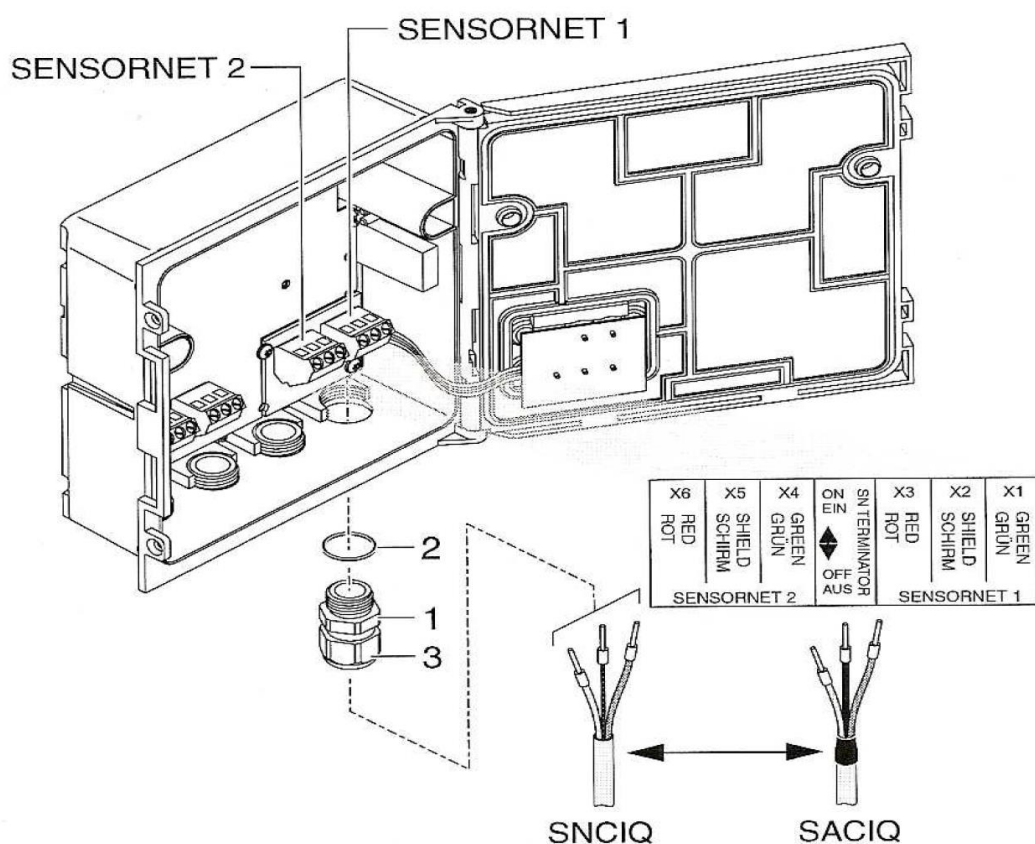
- Mediante cable SNCIQ

Cable especial de dos polos con blindaje para la transmisión segura de la energía y los datos dentro del sistema IQ Sensor Net. Con este cable, los componentes del sistema se pueden conectar entre sí en cualquier topología (línea, árbol, estrella, estrella múltiple), en lo que denominamos montaje distribuido (*distributed mounting*).



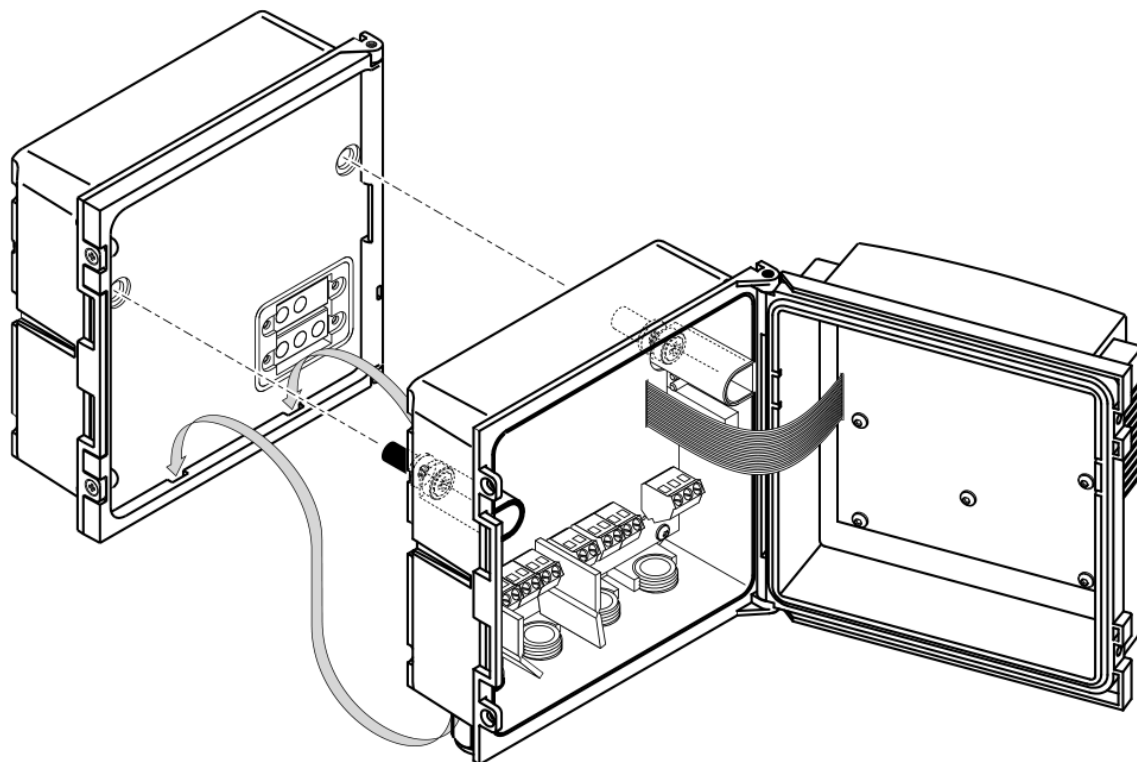
- Mediante montaje apilado de los módulos

Los módulos de IQ Sensor Net tienen como mínimo dos bornes destinados a realizar las conexiones necesarias entre ellos. Son los denominados SENSORNET 1 y SENSORNET 2 en la imagen a continuación:



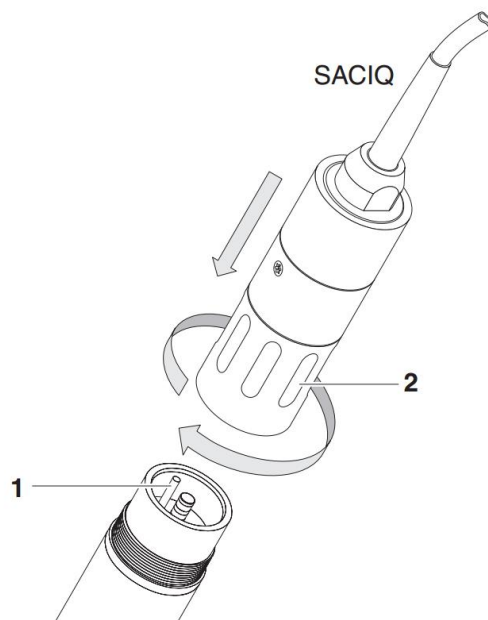
Además de usar cable, como ya hemos explicado, podemos realizar la conexión de transmisión de datos y alimentación junto con una conexión mecánica apilando hasta tres módulos, en lo que denominamos montaje en pila o “*stack mounting*”.

Simplemente encajándolos y colocando dos tornillos laterales de sujeción, como se indica en el ejemplo de la imagen a continuación:



- Mediante cable SACIQ

Usaremos este tipo de cable para conectar el sensor CarboVis, pues es el indicado para la conexión de los sensores IQ. Permite transferencia de datos así como alimentación, por lo que con un único cable se realiza la conexión de cualquier sensor. Además el conector es impermeable hasta a 100 metros de profundidad e incorpora protección contra rayos.



4.4 Estructura del sistema / Ventajas de un sistema digital y modular

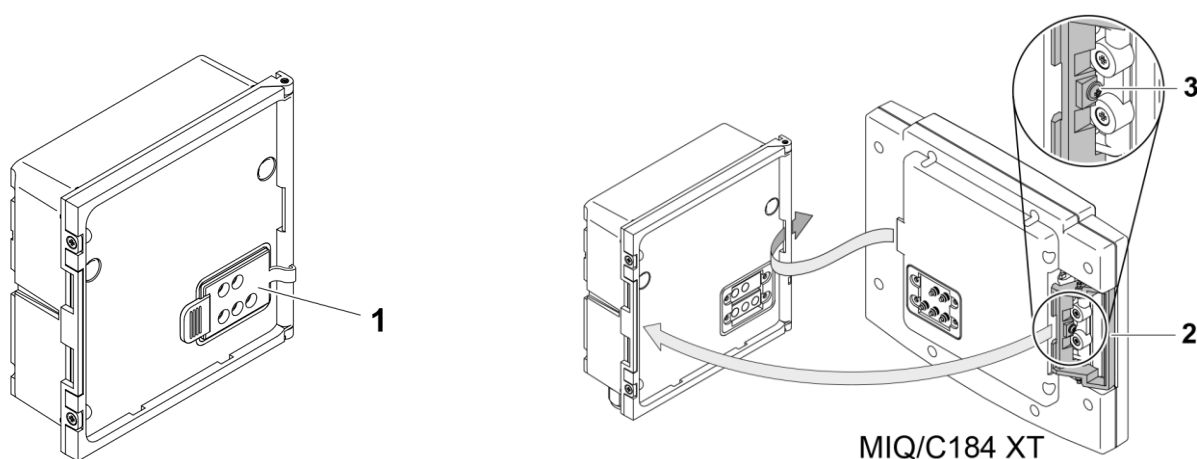
Los sensores IQ con interfaz digital permiten grandes distancias entre distintos sensores así como entre un sensor y el sistema de medida. Otras ventajas que nos ofrecen son la práctica inmunidad a las interferencias en la transmisión de las señales, la posibilidad de realizar la calibración en el laboratorio y la capacidad de guardar los datos de calibración en el propio sensor.

Al tratarse de un sistema compuesto de módulos y con función de comunicación digital, esto da la posibilidad de realizar instalaciones que combinen entradas analógicas así como digitales. También nos ofrece una buena representación gráfica de los diferentes valores de medida así como maneja la transferencia, el almacenamiento y la evaluación de los valores de medición de manera digital.

4.5 Terminales/controladoras del sistema IQ Sensor Net

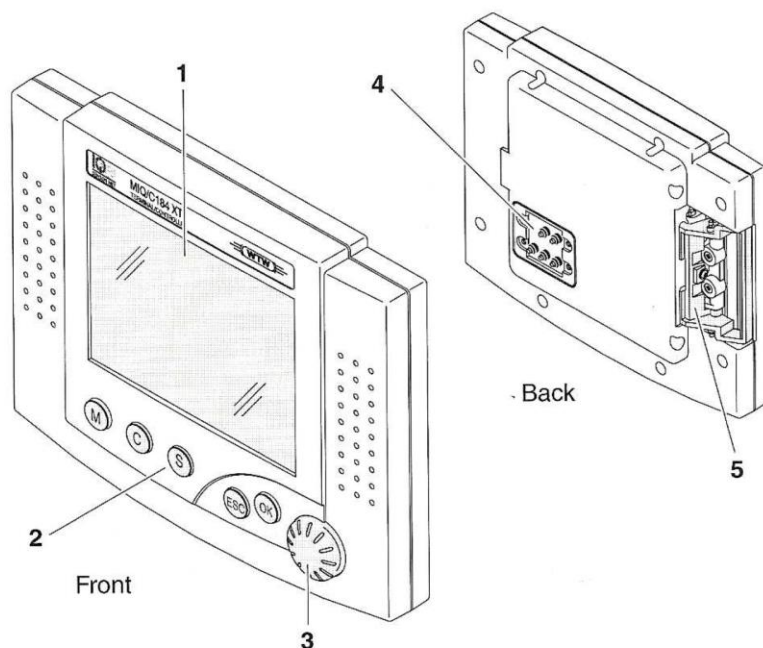
4.5.1 MIQ/C184 XT

Este módulo cumple las funciones de control y terminal del Sistema 184 XT. Es un elemento fundamental del sistema, al que de hecho se nombra según la controladora usada. Esta terminal puede acoplarse en la parte frontal de un módulo MIQ. Para ello hay que seguir los siguientes pasos:



1. En primer lugar debemos retirar la cubierta (1) que traen los contactos del módulo. Lleva una sujeción lateral para no retirarla totalmente y así evitar extraviarla.
2. Debemos encajar la MIQ/C184 XT a la tapa del módulo, insertando la pestaña que trae en la parte posterior en la bisagra del módulo. A continuación, presionar la palanca (2) y encajar completamente con el módulo. Soltar la palanca.
3. Para evitar que pueda soltarse por error, incorpora un tornillo (3) con el que fijar la palanca.

La terminal MIQ/C184 XT permite observar los datos obtenidos a través de los sensores IQ mostrándolos en la pantalla que incorpora en la parte frontal, así como modificar la configuración y opciones del sistema tales como alarmas, magnitudes de medida, sensores y módulos en uso, etc.



1. Pantalla gráfica.
2. Panel de control.
3. Mando giratorio.
4. Conexiones de acoplamiento.
5. Mecanismo de acoplamiento.

4.5.2 MIQ/T2020

Además de la terminal/controladora MIQ/C184 XT, podemos incorporar un PC para realizar algunas labores de control, visualización o almacenamiento de datos del sistema. Esto se realiza a través del módulo MIQ/IF232, el cual se conecta a un puerto en serie del PC a través de un cable de interfaz RS 232. Se trata por tanto de una terminal de software, que tiene que ser debidamente instalado en el PC.

La terminal de software MIQ/T2020 permite las siguientes funciones:

- Operación y monitorización del sistema IQ Sensor Net, de forma similar a la que nos ofrecen otras terminales de hardware como MIQ/C184 XT o MIQ/T2020.
- La conexión en línea con el sistema, lo que permite recibir los datos de medida y poder almacenarlos en formato de hoja de cálculo *Excel*.
- La transferencia de datos de medida anteriormente guardados por el sistema.

- La posibilidad de hacer copia de seguridad o *back up* de la configuración del sistema, así como cargar una configuración previamente guardada.

4.6 Módulos del sistema IQ Sensor Net

Existen distintos módulos IQ con funciones diferentes dentro del sistema. Comparten algunas características sobre todo en cuanto a estructura y montaje, teniendo por supuesto diferencias notables relacionadas con las posibilidades que ofrecen. Los módulos IQ son estancos y resistentes al agua, así como permiten una amplia variedad de opciones de instalación.

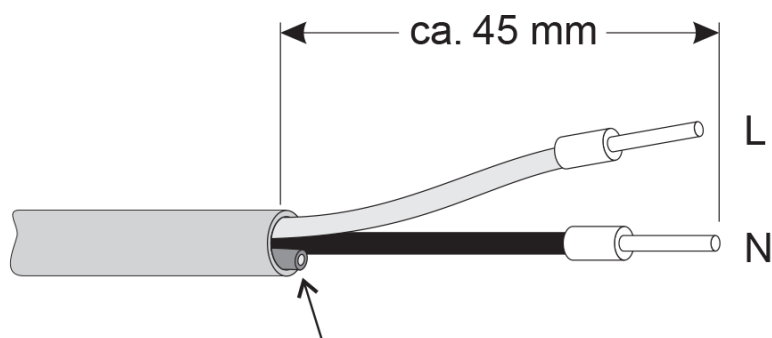
4.6.1 MIQ/PS

La función de este módulo consiste en ser fuente de alimentación del sistema IQ Sensor Net. Dependiendo de la energía que necesitemos suministrar, se deberán usar varios de estos módulos, como se indica en la siguiente tabla:

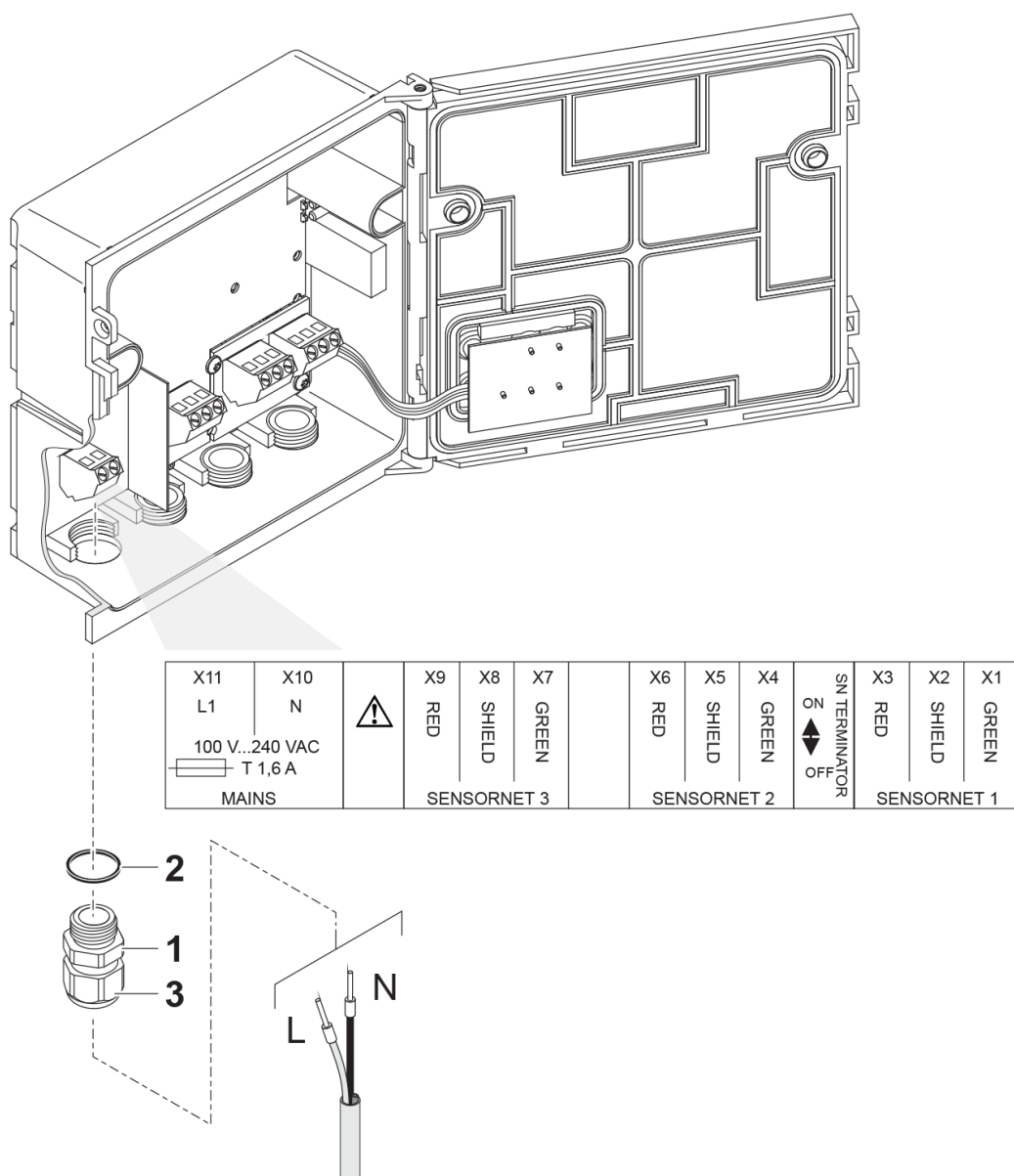
Power consumption in Watts		Number of power supply units
MIQ/PS	MIQ/PS PLUS	
≤ 18 W	≤ 30 W	1 power supply unit
18 - 36 W	30 - 60 W	2 power supply units
36 - 54 W	60 - 90 W	3 power supply units

Como ya calculamos la potencia requerida por los diferentes módulos y el sensor (14,2W en total), para el montaje que vamos a desarrollar bastaría con un módulo MIQ/PS. La tensión se suministra a través de los contactos de la parte frontal y posterior del módulo en caso de montaje apilado, a través de cable SNCIQ en caso de montaje distribuido y/o a través de cable SACIQ en el caso de los sensores.

Para conectar este módulo a la red debemos usar un cable sin protección por toma de tierra. Por eso debemos cortar el hilo de tierra a nivel de la cubierta protectora del cable, como se puede observar en la siguiente imagen.



Además, el fabricante especifica que no debemos dejar hilos libres o sin conectar a resguardo en la carcasa del módulo, pues esto podría poner áreas seguras en contacto con altos voltajes. Una vez preparado el cable, se realiza la conexión de la forma indicada en el siguiente esquema:



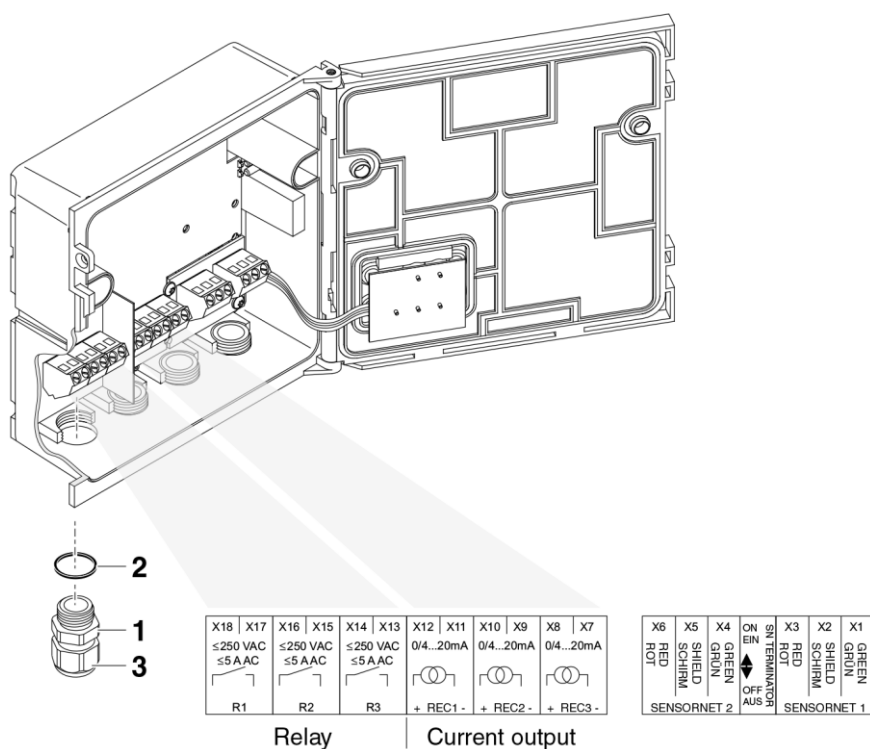
4.6.2 MIQ/CR3

El MIQ/CR3 es un módulo de salidas combinadas que ofrece tres salidas de corriente para salidas analógicas de los valores de medida así como tres contactos relé sin tensión que pueden programarse como alarma, indicador de limitación o como regulador. Se pueden asociar salidas de corriente y de relé con sensores, para usarlas para monitorizar sensores o para fines de control. Las salidas de relé no conectadas pueden ser usadas para funciones generales de monitorización.

Las salidas de relé pueden operar tanto cerradas normalmente como abiertas normalmente, mientras que las salidas de corriente proporcionan una intensidad eléctrica que depende del valor medido.

A través de la terminal se pueden ajustar ciertas configuraciones relacionadas con el módulo de salidas, tales como:

- Asignar nombre a las salidas
- Asociar salidas con sensores
- Borrar dichas asociaciones de salidas con sensores
- Ajustar las salidas



La función principal de las salidas de corriente es la de registro. Los valores de medida de un sensor conectado a la salida de corriente se registran como intensidades de corriente en la aplicación *Recorder*.

Las funciones de las salidas de relé se pueden resumir en tres: supervisión de eventos, indicador de limitación y controlador proporcional.

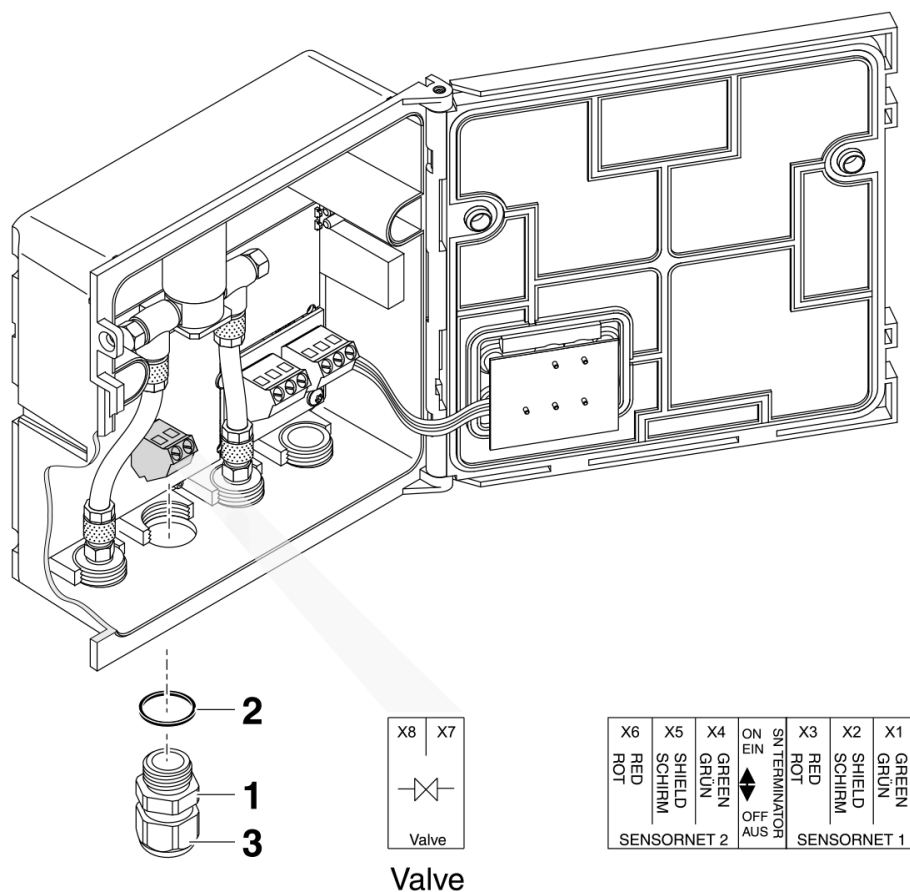
Cuando usamos un relé para supervisión de eventos, cuando este sucede se activa la acción del relé (ya sea abriéndose o cerrándose, dependiendo del estado normal que configuremos). Esta función se suele usar para supervisar errores en el sistema o en algún sensor, funcionando como una alarma.

También podemos usar la salida de relé como indicador de limitación, haciendo que conmute cuando un determinado valor especificado se sobrepase inferior o superiormente. Esta función puede ser usada combinando dos relés, de manera que podemos fijar dos límites diferentes para acotar un determinado rango de valores.

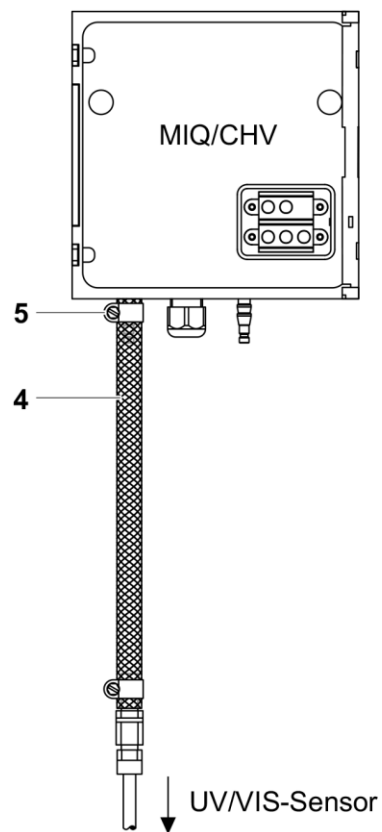
Por último, si un relé conmuta cíclicamente en un determinado rango de valores de medida (rango proporcional), mientras conmuta con una determinada duración de la operación (periodo) o con una determinada frecuencia, podemos usar la salida de relé para realizar un control de ancho de pulso o de frecuencia respectivamente.

4.6.3 MIQ/CHV

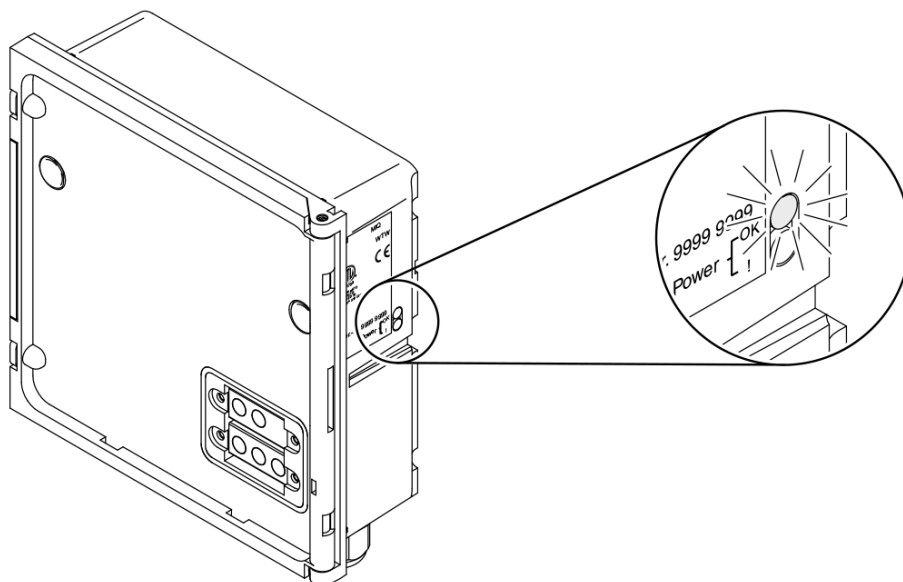
Se trata de un módulo para la limpieza del sensor CarboVis mediante una válvula de aire comprimido. La conmutación de la válvula, es decir, la apertura y cierre de la misma, es controlada por el módulo MIQ/VIS. Existen otras alternativas, como usar un relé del módulo de salidas combinadas (MIQ/CR3) o cualquier otro relé o conmutador. La línea de control de la válvula debe ser conectada según se indica en la siguiente figura:



Se requiere que el aire comprimido esté seco (libre de humedad), libre de polvo y de aceites. El suministro de aire comprimido a este módulo se hace a través de un compresor ubicado en la zona exterior del laboratorio, junto al tanque de almacenamiento de las aguas residuales. Trabaja con un rango de presiones de entrada de 4 a 7 bares. En la siguiente figura se pueden observar la entrada y la salida de aire comprimido del módulo, además de un ejemplo de colocación correcta de la manguera (en la salida, en este caso).

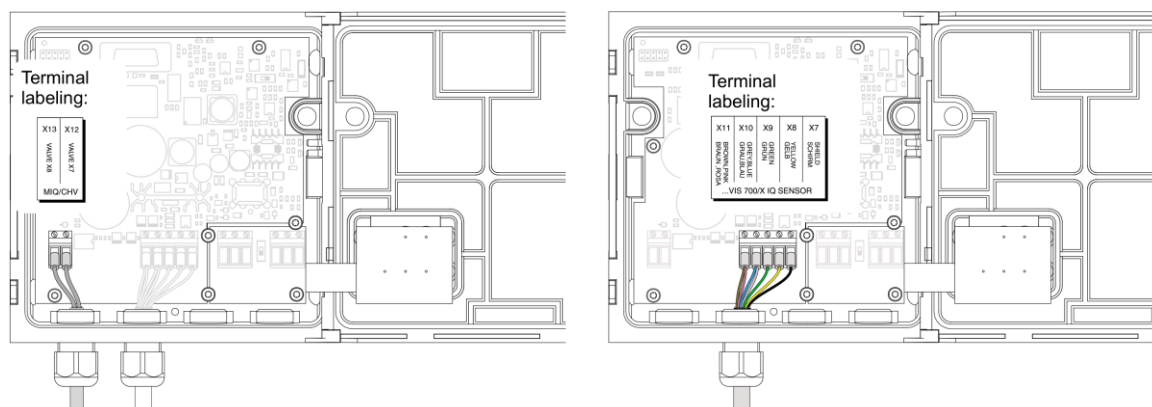


El módulo MIQ/CHV tiene además dos LEDs en el lateral para la supervisión del suministro eléctrico, encendiéndose el amarillo si es correcto, el rojo como señal de aviso (posiblemente la válvula no pueda abrirse) y sin ninguna luz si hay algún problema con el voltaje operacional.



4.6.4 MIQ/VIS

El módulo MIQ/VIS se encarga de los tiempos de actuación de la válvula de aire comprimido que suministra el MIQ/CHV. Además, es sólo a través de este módulo que debemos conectar el sensor CarboVis al sistema 184XT en general. Por tanto deberemos conectarlo adecuadamente, como vemos en las siguientes figuras:

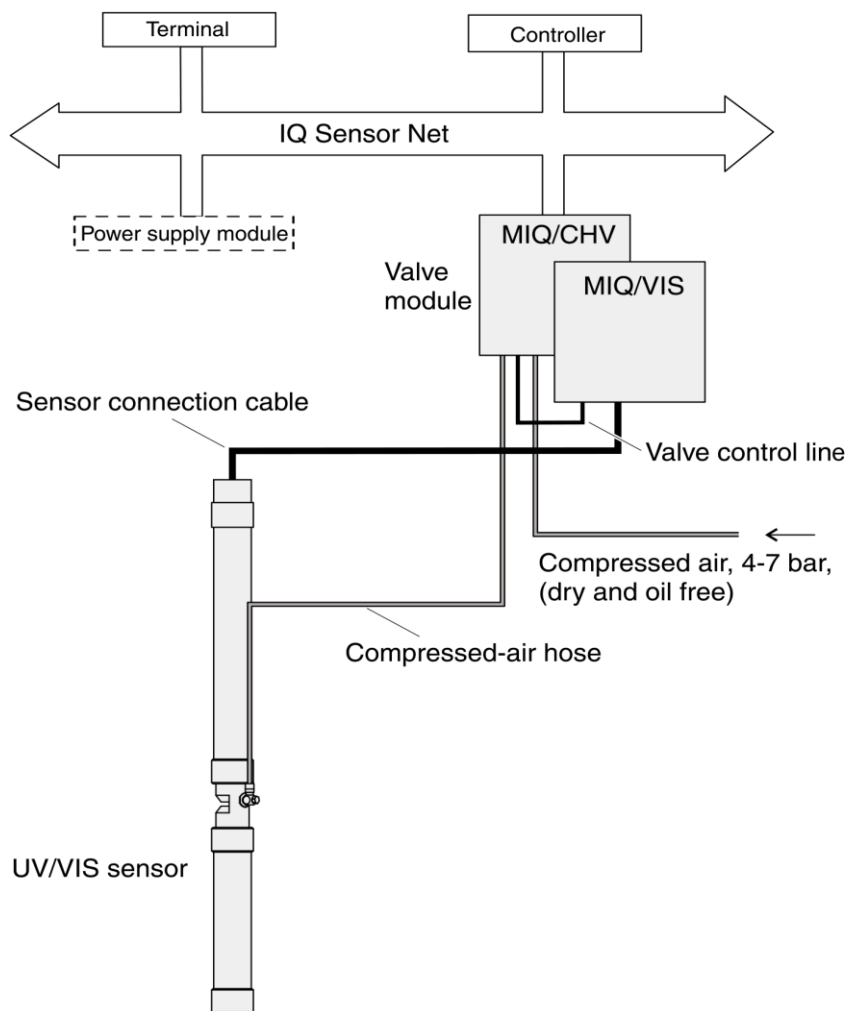


En la primera figura podemos observar la conexión mediante cable de doble hilo SNCIQ hacia el módulo MIQ/CHV. En la segunda, la conexión del sensor de carbono mediante cable SACIQ.

La unión de este módulo con el sensor de carbono es tal que a menudo se consideran en conjunto, incluso a la hora de calcular la potencia requerida (6,5W el sensor y 0,5W el MIQ/VIS, o 7W directamente en conjunto).

Para ajustar tanto la frecuencia de limpieza como la duración de cada uno de los ciclos, podemos acceder a través del terminal MIQ/C184 XT al menú dedicado al sensor CarboVis 700/5 IQ y determinar los tiempos que creamos adecuados según las características de las aguas que vamos a analizar.

Además, el sensor CarboVis debería ser conectado al sistema solamente a través de un módulo MIQ/VIS, por el contrario podría sufrir daños. Este módulo no debe tener alimentación eléctrica cuando conectamos el sensor.



4.6.5 MIQ/IF232

El módulo MIQ/IF232 expande el sistema IQ Sensor Net a través de una interfaz RS232. Esto permite una conexión entre el sistema y un PC, que mediante un software específico funcionará como terminal y controladora del sistema. La terminal de software MIQ/T2020 PC tiene las funciones que describimos en el apartado dedicado a ello en el capítulo de terminales del sistema.

Las conexiones que permite el módulo MIQ/IF232 son:

- 1 x Conexión RS 232, con el cable y el conector ya integrados.
- 3 x Conexiones SENSORNET.

La carcasa del módulo es igual que las de otros módulos, por lo que ofrece estabilidad, estanqueidad y resistencia a las inclemencias del tiempo. Y por supuesto, se puede instalar de

múltiples formas (montaje en pila, montaje distribuido, con protección para lluvia y sol, sobre un riel...).

4.7 Sensor CarboVis 700/5 IQ

4.7.1 Introducción a la medición de carbono

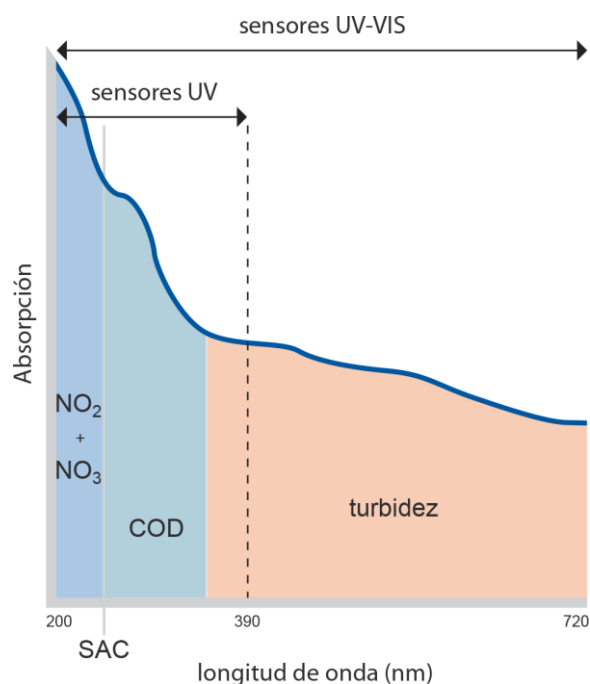
La tarea principal de una planta de tratamiento, además de la eliminación de nitrógeno y fosfatos, es la reducción de la carga orgánica de las aguas residuales. Los compuestos orgánicos están formados principalmente de carbono e hidrógeno que son convertidos, mediante oxidación en el proceso de limpieza, en dióxido de carbono y agua.

Para analizar la carga orgánica del agua se utilizan los parámetros Carbono Orgánico Total (COT), Carbono Orgánico Disuelto (COD), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Pero todos estos parámetros requieren de complejos procesos de digestión y de la instrumentación adecuada para la determinación analítica in situ. Por eso podemos determinar la correlación de éstos con algún otro parámetro que nos ofrezca una mayor facilidad para determinarlo.

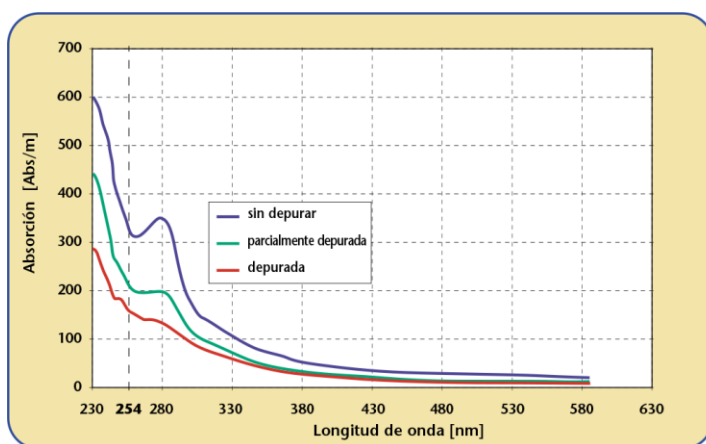
Medición de COD en el laboratorio	Medición in situ
	<p>uso de los sensores espectrométricos</p> 
<p>Medición individual</p> <p>=> con retraso, adecuada para el monitoreo</p>	<p>Medición continua</p> <p>=> respuesta rápida, adecuado para estrategias de control</p>

(las siglas COD de esta imagen equivalen a demanda química de oxígeno en inglés)

El coeficiente de absorción espectral (CAE) es un parámetro más fácil de estudiar, a través de la absorbancia UV-visible, una técnica simple, rápida y de resultados bastante reproducibles. Muchos compuestos orgánicos tienen espectros de absorción muy característicos y, por lo tanto, se puede correlacionar el grado de atenuación de la radiación con la carga orgánica.



En análisis de aguas potables la norma es realizar la medición del CAE a 254 nm (lo que se suele denominar SAC254, por las siglas en inglés de Spectral Absorption Coefficient). Algunos factores como la turbidez, la cantidad de sólidos en suspensión o la presencia de diversos compuestos con características ópticas claramente diferenciadas y factores de correlación diferentes para el contenido de carbono, hacen que sea oportuno para el análisis de aguas de origen industrial realizar la espectrofotometría con varias longitudes de onda o en un rango de estas.



Espectro de muestras de aguas residuales de una planta de tratamiento:

El espectro de absorción medido de esta planta de tratamiento muestra un nivel máximo característico a aprox. 280 nm, que puede atribuirse a las sustancias degradables orgánicas disueltas (estas sustancias son degradadas en el transcurso del proceso de limpieza y el nivel máximo de absorción desaparece casi por completo).

A través de una medición del CAE a 254 nm estos compuestos no pueden detectarse, puesto que en ese ámbito la absorción es determinada casi exclusivamente por sólidos y a esta longitud de onda no existe ninguna correlación con las materias degradables disueltas.

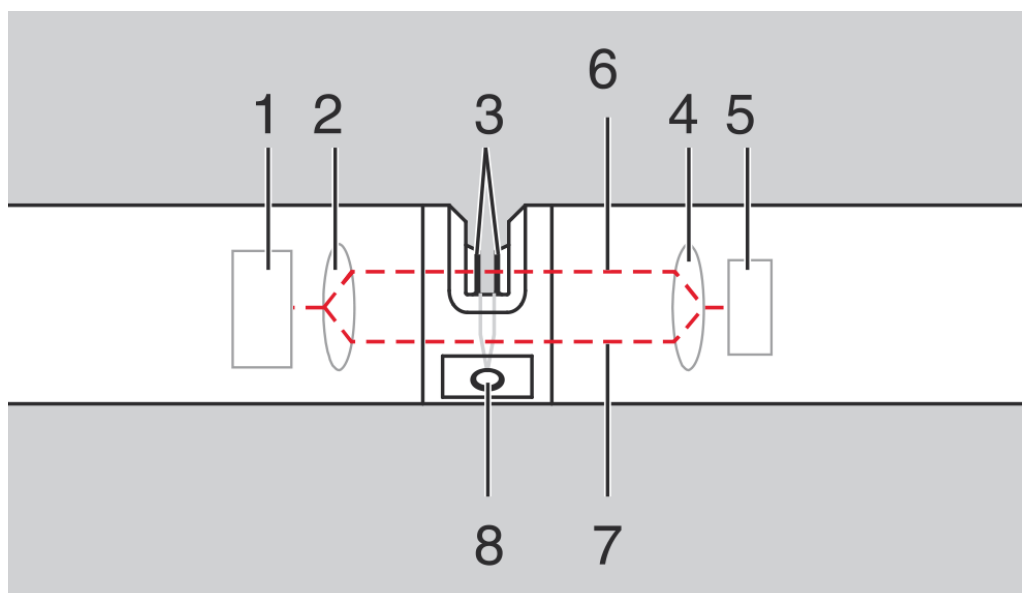
4.7.2 Principio de funcionamiento de la sonda espectrométrica

El sensor CarboVis mide todo el rango espectral desde ultravioleta hasta la luz visible de ondas largas (200-720 nm). Las mediciones se determinan con el alto contenido de información de los datos espectrales. El cálculo se basa en algoritmos y características que se han determinado con una amplia gama de mediciones y análisis a través del tiempo. Permite además seleccionar algoritmos específicos para adaptarse a las características del lugar de medición (a la entrada de una estación de tratamiento de aguas, en un tanque biológico, a la salida) mejorando así la correlación con los parámetros del carbono.

Además el funcionamiento de este sensor tiene una ventaja adicional: la medición espectral se entrega con una compensación óptima de la influencia de los nitratos y nitritos sobre la medición del carbono. La influencia de las típicas interferencias que causan las variaciones en la matriz es eliminada al usar el espectro de absorbancia completo.

De manera predeterminada, los valores de medida se muestran en forma de DQO y en unidades de mg/L. Estableciendo una correlación entre este parámetro y alguno de los otros parámetros relacionados con el carbono (como COT, COD o DBO) se pueden mostrar los resultados en función del parámetro escogido.

4.7.3 Estructura del sensor



1. Fuente de luz
2. Emisor del sistema óptico
3. Espacio de lectura entre las ventanas de medición
4. Receptor del sistema óptico
5. Detector
6. Haz de medición
7. Haz de referencia
8. Conexión al sistema de limpieza por aire comprimido

El sensor UV/VIS consta de una fuente de luz (1), un espacio de lectura (3) donde se dará el contacto entre la luz y la solución que vamos a medir, y un detector (5) para medir el haz de luz atenuado.

El emisor del sistema óptico (2) dirige un haz de luz, el haz de medición (6), a través de la solución que se va a medir. Y un segundo haz de luz, el de referencia (7), a lo largo de una determinada distancia sin la presencia de dicha solución. Este canal de referencia está compuesto por componentes ópticos idénticos a los empleados en el haz de medida. La muestra de agua analizada es la contenida en el espacio entre ambas ventanas de medición (3), fabricadas con cristal de zafiro.

El receptor óptico del sistema (4) dirige tanto el haz de medición como el haz de referencia al detector. En el detector, la luz es captada por fotodiodos fijos.

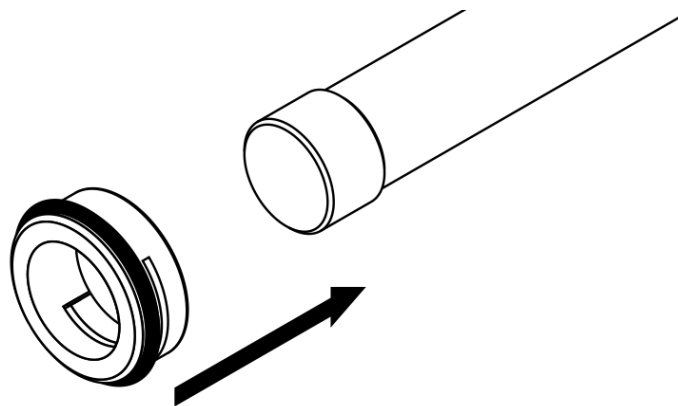
4.7.4 Características

- Mediciones directas. El sensor mide directamente en el medio, por lo que no se requiere de preparación ni transporte de la muestra.
- Valores en tiempo real. No existe la demora generada entre la toma de la muestra y el resultado de la medición, ya que los valores reales están disponibles de inmediato en el sistema.
- Precisión. Las mediciones son particularmente precisas gracias al análisis espectral que realiza sobre el rango ultravioleta-visible.

- Efectiva compensación de los factores de interferencia y la turbidez. Esta compensación se fundamenta en la información y análisis espectral, por lo que se obtienen mejores resultados que usando simplemente el método de doble haz en una determinada longitud de onda.
- Larga vida útil y escaso mantenimiento. Gracias a la limpieza automática por medio de aire comprimido previa a cada medición, el sistema requiere un mantenimiento realmente escaso y posee una prolongada vida útil.
- Método no intrusivo y de bajos costes operativos. La medición mediante principios ópticos no requiere el uso de elementos químicos ni de piezas que pudieran sufrir desgaste.

4.7.5 Instalación

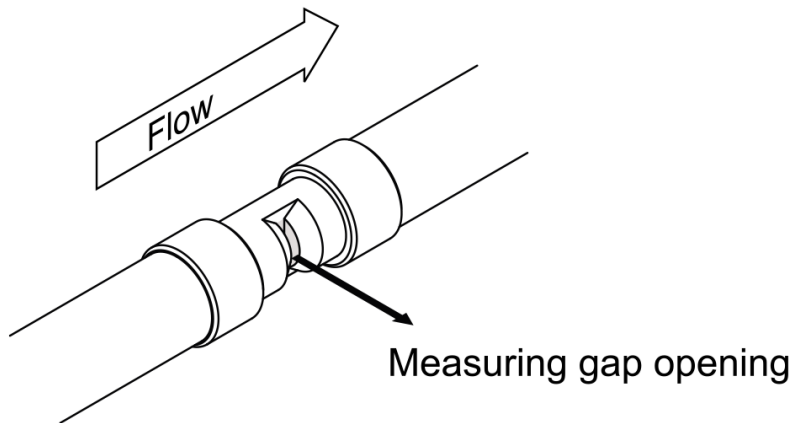
La sonda CarboVis es un instrumento óptico de precisión y, por lo tanto, a la hora del montaje debemos asegurarnos de evitar posibles futuros impactos, comprobando bien las distancias con las distintas paredes que pudieran delimitar el medio y otros posibles obstáculos. Además, el sensor incluye lo que se denomina un “anillo protector”, que debidamente colocado lo protege de ciertos impactos. En la siguiente imagen se indica cómo colocarlo sencillamente.



Los dos montajes más comunes son en horizontal y en vertical. Cada uno requiere una colocación adecuada.

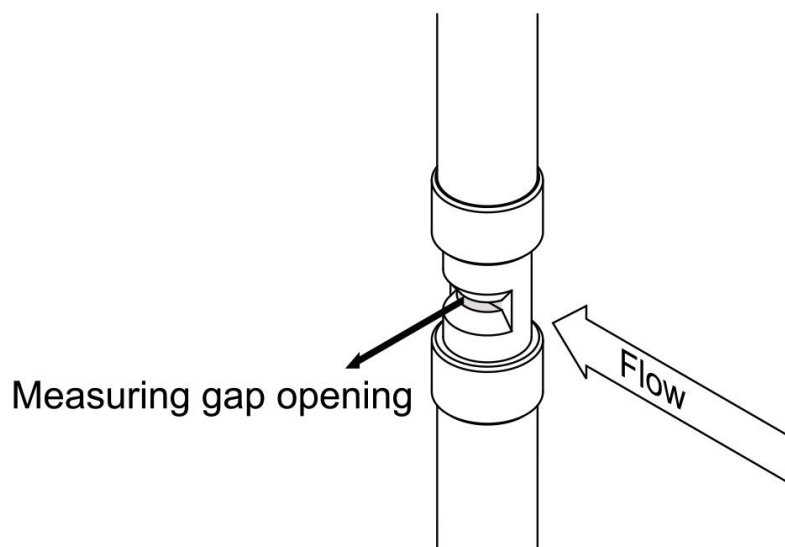
- Sonda en posición horizontal.

Cuando se monta el sensor horizontalmente, la ranura de medida debe colocarse de lado. Así, el aire comprimido puede escapar hacia arriba y no se acumulan sedimentos en la ranura. El sensor debe quedar alineado con la dirección del flujo.



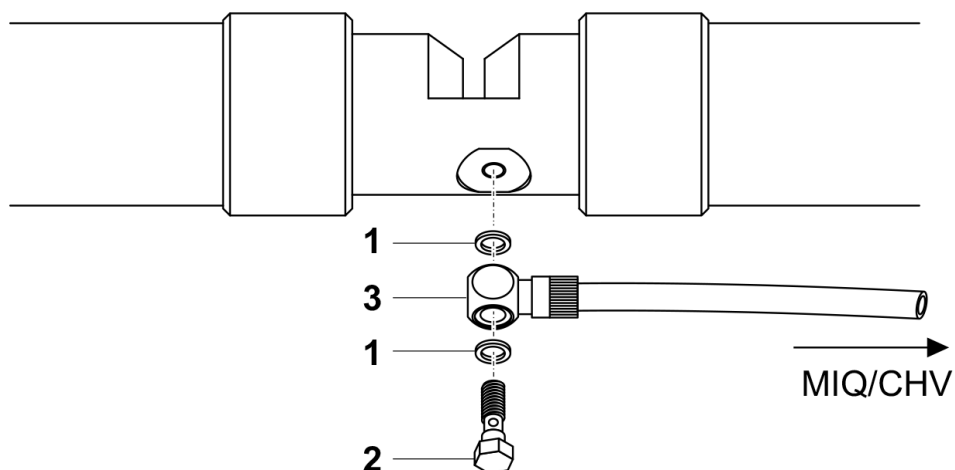
- Sonda en posición vertical.

Cuando se monta el sensor verticalmente, hay que asegurarse de que los elementos que pudieran interferir en la medición (como las burbujas del aire comprimido del sistema de limpieza) puedan escapar con el flujo. En el caso de instalación en vertical, el flujo debe ser mínimo de 0,2 m/s para garantizar una óptima limpieza de la ranura de medida.



Conexión de la manguera

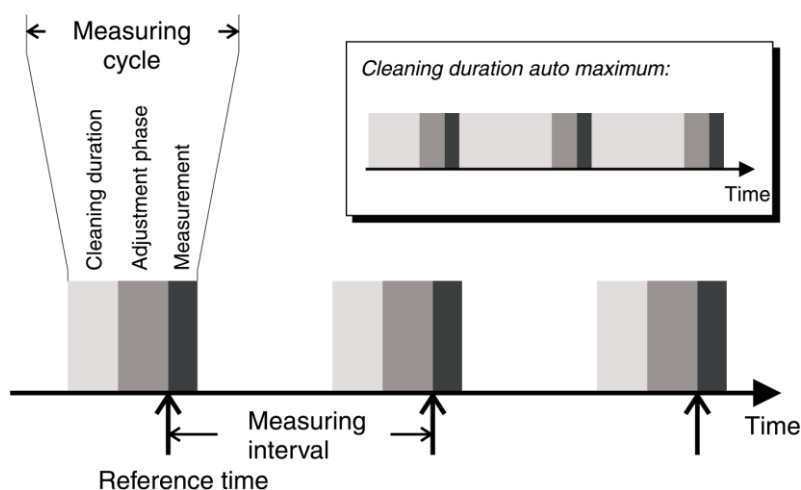
A la hora de conectar la manguera de aire comprimido a la sonda se debe hacer como se indica en la siguiente imagen:



Debemos atornillar la junta roscada (3) a la parte inferior del sensor. Para ello usaremos unas anillas de sellado (1) que quedarán una entre el sensor y la junta roscada del suministro de aire comprimido, y otra entre ésta y el tornillo (2). Estas anillas garantizan la estanqueidad de la conexión de aire comprimido, evitando que se escape.




4.7.6 Configuración del sensor en el terminal del sistema

Un ciclo de medida comprende la duración de la limpieza, la fase de ajuste del sistema de medición y la determinación de los valores de medida. En la siguiente imagen se puede observar una determinada configuración de los diferentes tiempos y lo que sería el intervalo de medida.



También se muestra cómo sería el funcionamiento con la configuración del tiempo de limpieza en modo máximo automático, con la cual el sistema de limpieza por aire comprimido estaría en funcionamiento todo el tiempo desde que se obtienen los valores de una medición hasta que llega la próxima fase de ajuste. Esta y otras muchas opciones se pueden configurar para adaptarlas al máximo a las necesidades del agua y las condiciones en las que se debe medir.

Para ello debemos acceder a la configuración de sensores a través de alguna de las terminales del sistema. Una vez dentro de la configuración del CarboVis 700/5 IQ, encontramos un menú como el que se muestra a continuación:

Terminal PC	16 Oct 2003 11 10			
S02 CarboVis700/5IQ 03090002				
Measuring mode	Entire COD spectr.			
Measuring location	Outlet			
Measuring range	0..2500 mg/l			
Cal - # raw value 1	0.00			
Cal - ref. value 1	0.00			
Cal - # raw value 2	10.00			
Cal - ref. value 2	10.00			
Ref. time (h)	12 h			
Ref. time (min)	0 min			
Meas. interval (min)	Minimum			
Signal smoothing	On			
Cleaning mode	On			
Cleaning duration	5 s			
Adjustment phase	10 s			
Meas. betw.cleaning	1			
TSS sensor	Not active			
Software versions	Do not download			
Save and quit				
Quit				
Select setting \$				

Aquí se pueden modificar distintas configuraciones relativas al sensor de carbono, destacando algunas como:

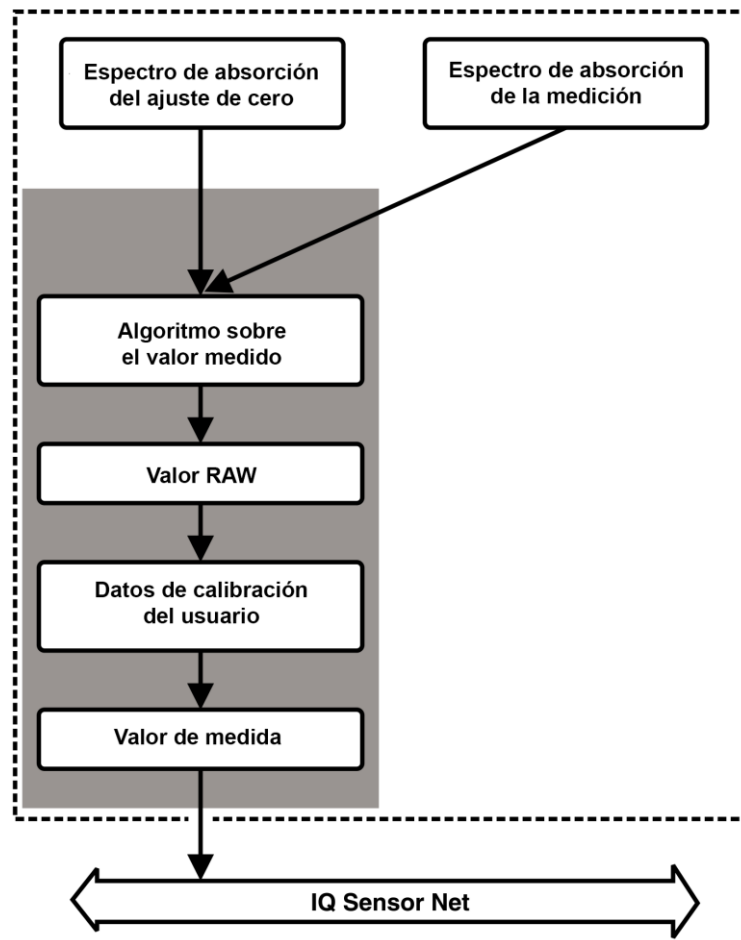
- Modo de medida. Por defecto medirá DQO a través del análisis espectral, pero es posible seleccionar cualquiera de los demás parámetros de estudio del carbono (a través de una correlación con la DQO) o realizar el análisis del coeficiente de absorción espectral a 254nm (SAC254).

- Localización del lugar de medida. Se puede elegir entre localización a la entrada y a la salida, lo que ajusta ciertos valores para optimizar la calidad de las medidas. Predeterminadamente la configuración seleccionada será a la salida.
- Tiempo de referencia. Se puede fijar un tiempo (en horas o en minutos) para que comience el primer ciclo de medida. Después la duración del resto de ciclos será la que se configure.
- Intervalo de medida. También llamado ciclo de medida. Es el tiempo desde que se realiza una medición hasta la siguiente. Existe la opción mínimo, que calcula automáticamente el menor intervalo teniendo en cuenta la duración de limpieza y la fase de ajuste configuradas.
- Suavizado de señal. Podemos activar y desactivar la función que suaviza la señal en caso de fuertes variaciones en los valores de medida (debido a un posible material extraño que hubiera acabado en el agua matriz, alguna burbuja de aire, etc.)
- Duración del proceso de limpieza. Cuando seleccionamos máximo automático, el sistema de aire comprimido funciona desde que termina una medición hasta la siguiente fase de ajuste.
- Fase de ajuste. El tiempo de ajuste tiene la finalidad de permitir un tiempo entre que termina la limpieza por aire comprimido y se realiza la medida, para que así puedan escapar todas las burbujas de aire y no interfieran en el resultado.

4.7.7 Determinación de valores de medida

Durante la medición, el espectro de absorción de la muestra analizada es registrado y enfrentado al espectro de absorción del ajuste de cero (medida realizada sobre agua ultrapura). Esto se realiza mediante un determinado algoritmo de cálculo que depende de factores como el modo de funcionamiento indicado o la localización seleccionada. El valor “raw” resultante puede ser ajustado a una medida de referencia independiente con la ayuda de la calibración del usuario.

A continuación se muestra un esquema del algoritmo empleado para la determinación de los valores de medida:



4.7.8 Factores que pueden afectar a los valores de medida

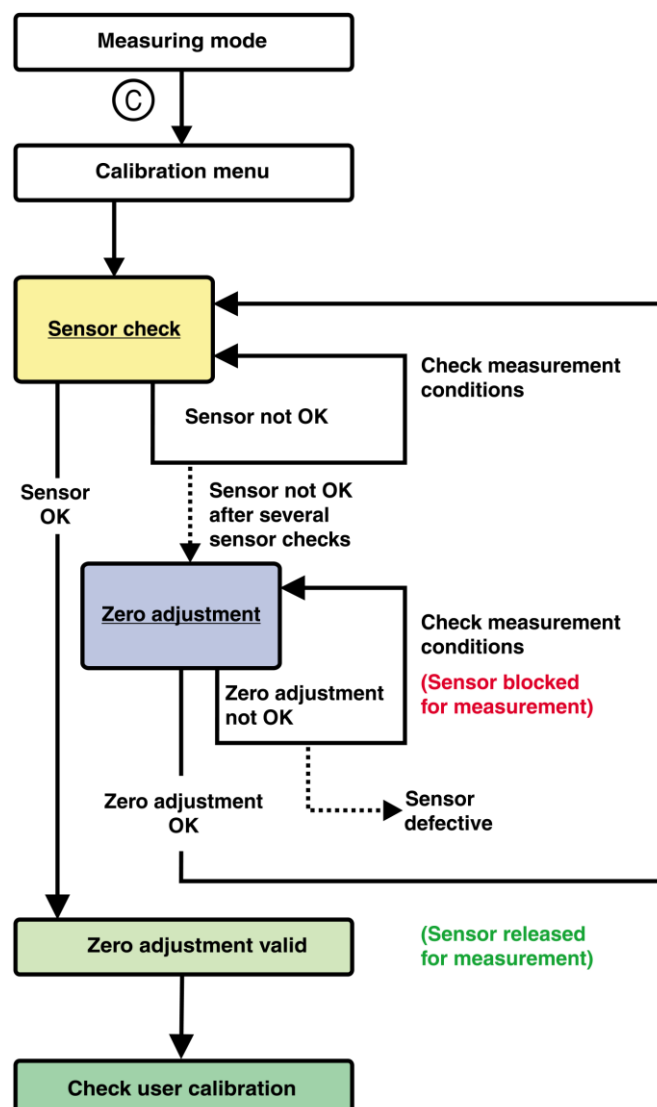
- La ranura de medida puede no estar suficientemente llena de agua o atravesada por el flujo de agua.
- Puede haber materia extraña (ajena al agua analizada) o burbujas de aire acumuladas en la ranura de medida.
- Pueden existir cambios extraordinarios en la matriz de la muestra, lo que se denomina como interferencias.
- Las ventanas de medición pueden encontrarse sucias o contaminadas debido a una baja eficiencia en la limpieza.
- Puede haber un fallo en el sistema de aire comprimido.
- Las ventanas de medición pueden estar dañadas.
- Posible falta de calidad del ajuste de cero, por ejemplo debido a la utilización de agua ultrapura en mal estado o contaminada.

- La configuración usada en la calibración del usuario puede no ser representativa o ser errónea directamente.

4.7.9 Calibración

El sensor CarboVis 700/5 IQ viene precalibrado de fábrica y listo para medir (aunque hay que tener en cuenta la configuración por defecto de la calibración del usuario).

Hay dos tipos de calibración que se incluyen en el cálculo del valor de medida en puntos totalmente diferentes, como veíamos en el apartado referido a la determinación de los valores de medida: el chequeo del sensor y ajuste de cero, por un lado, y la calibración del usuario, por otro. A continuación se muestra el diagrama del proceso de calibración.

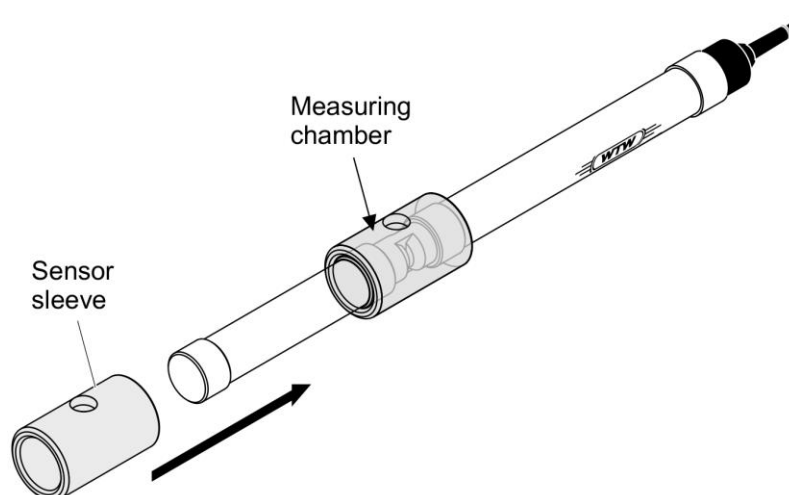


- Chequeo del sensor y ajuste de cero.

Un chequeo del sensor determina las condiciones de la sonda. Debería llevarse a cabo dos veces al año en intervalos regulares según la recomendación del fabricante. También debería llevarse a cabo un chequeo extraordinario si se sospecha que el sensor se ha podido dañar, por ejemplo por un choque mecánico.

Un ajuste de cero compensa posibles cambios irreversibles (como los que pueden sufrir las ventanas de medición más allá de lo que puede resolverse mediante limpieza). Si un ajuste de cero no se realiza con éxito, el sensor queda bloqueado para realizar nuevas medidas. Es necesario un ajuste de cero exitoso para la determinación de valores de medida.

Tanto el chequeo del sensor como el ajuste de cero del mismo deben realizarse con agua ultrapura, por lo que se debe usar agua destilada o desmineralizada adecuada para fines de análisis, y bajo condiciones de absoluta limpieza, de lo contrario se puede deteriorar notablemente la calidad de las medidas. Para no depender de tener que sumergir toda la sonda en agua ultrapura, se debe usar una cámara de medición en forma de manguito como la que se puede observar en la siguiente imagen.



- Calibración del usuario.

La calibración del usuario sirve para compensar la influencia de la muestra. Esta calibración requiere haber realizado satisfactoriamente un chequeo del sensor y un ajuste de cero con anterioridad.

Es recomendable comprobar la calibración de usuario actual siempre que se considere que ha habido cambios sustanciales en la muestra. Si las medidas de la comprobación muestran claras desviaciones respecto a los valores que deberían tomar, entonces debemos compensarlo mediante una nueva calibración de usuario.

4.7.10 Mantenimiento y limpieza

El sensor ultravioleta-visible CarboVis 700/5 IQ opera sin mantenimiento. Gracias al sistema de limpieza de aire comprimido el equipo es capaz de eliminar la acumulación de suciedad o la formación de capas de contenido biológico, por lo que puede funcionar por mucho tiempo sin necesidad de otro tipo de mantenimiento. Además está fabricado en titanio y PEEK (Polieteretercetona), materiales que garantizan la durabilidad y resistencia a la corrosión.

Respecto a la limpieza de la sonda, es fundamental tener en cuenta que la presencia de suciedad en las ventanas de medición puede confundirse fácilmente con altas concentraciones de DQO en los sistemas de medición. Una vez que la suciedad se ha asentado en las ventanas, lo normal es que nuevas partículas se acumulen cada vez más rápidamente. Esta situación presenta un desafío particularmente importante para este tipo de tecnología, sobre todo en plantas de tratamiento donde existen serios problemas de suciedad ocasionados por el crecimiento de microorganismos o la acumulación de partículas en las ventanas.

En principio no debería ser necesaria la limpieza manual de las ventanas de medición si el sistema integrado de aire comprimido funciona correctamente. De todas formas, si se percibiera materia contaminante en ellas o si se sospecha que pudiera haberla debido a desviaciones en los valores de medida, debemos seguir las siguientes indicaciones:

- Antes de limpiar las ventanas de medida el resto de la sonda debe estar limpia, evitando la presencia de partículas abrasivas en la ranura de medida.
- Para proceder a la limpieza de la ventana de medida deberemos usar un tejido libre de pelusas o que pueda dejar restos. Con ayuda de algún objeto suficientemente delgado podemos frotar el tejido mojado en las ventanas.
- Si fuera necesario, podríamos repetir la operación cambiando el tejido de limpieza tantas veces como sea necesario.

Para realizar un lavado exterior del sensor podremos usar distintos agentes de limpieza, dependiendo de los contaminantes o sustancias que puedan estar ensuciando la sonda:

- En el caso de que se tratase de sustancias solubles en agua, bastaría con usar agua corriente o del grifo.
- En el caso de que se tratase de grasas y aceites, usaríamos agua templada y jabón líquido (como el de uso doméstico, por ejemplo). Si el sensor estuviera altamente contaminado por aceites o grasas, entonces sería adecuado el uso de alcoholes metilados (no se recomienda una aplicación de más de 5 minutos).
- En el caso de encontrarnos antes capas de cal e hidróxido sería adecuado el uso de ácido acético en disolución del 10% durante un corto tiempo, aclarando con agua corriente inmediatamente después.

Para terminar el proceso, antes de realizar un chequeo del sensor o un ajuste de cero debemos eliminar cualquier residuo de los productos de limpieza, pues puede llevar a una calibración errónea. Para ello simplemente hay que enjuagar la sonda varias veces con agua desionizada, quedando lista para hacer una calibración correcta.

Comparación con el sistema de limpieza por ultrasonido

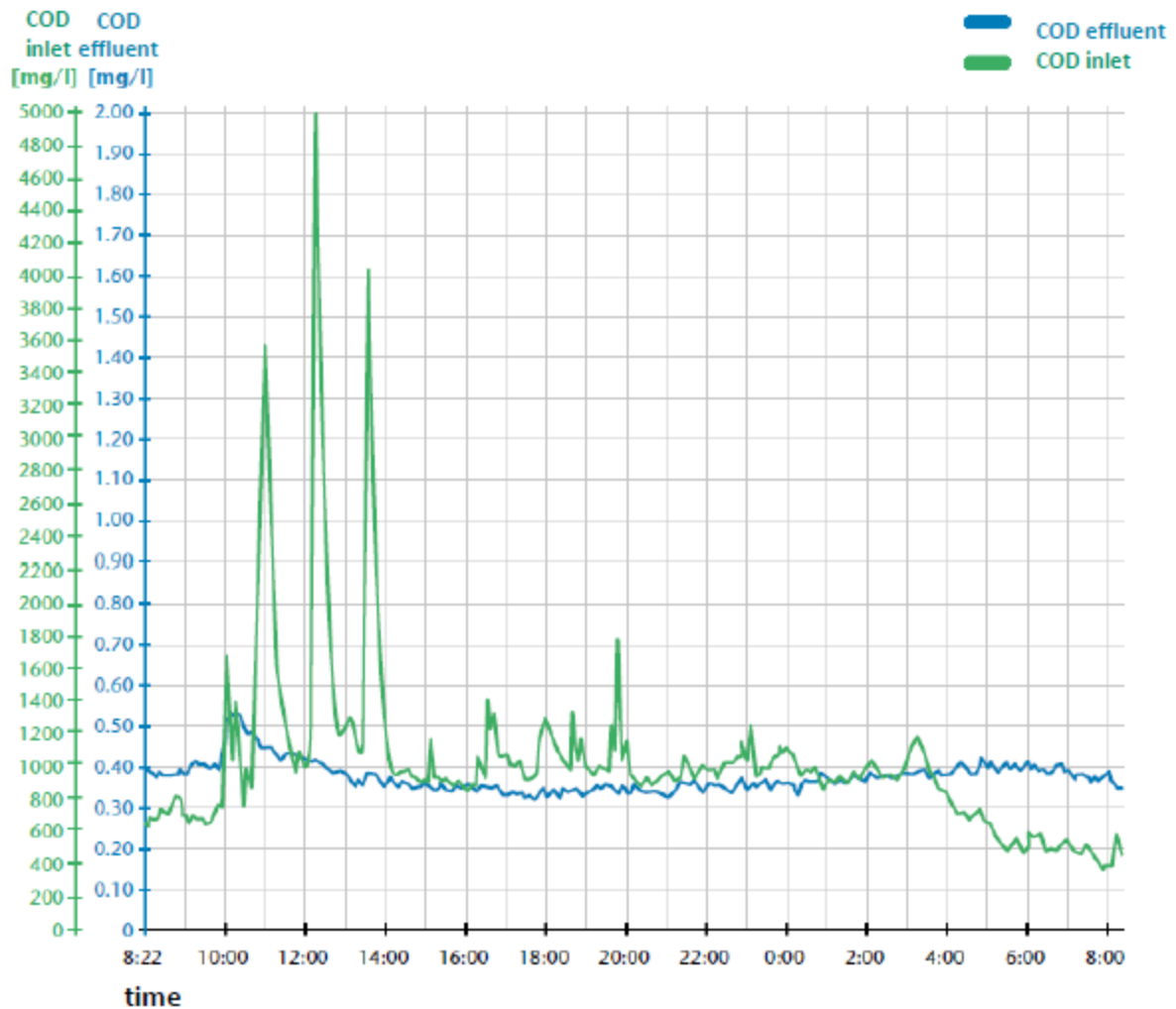
Existe un problema que puede experimentar nuestra sonda en lo que a limpieza y mantenimiento se refiere. El sistema de limpieza por aire comprimido es un método sencillo pero bastante eficaz en la eliminación de contaminación o posibles residuos sobre la superficie de las ventanas de medida, pero es posible que su accionamiento repetido a lo largo del tiempo pueda causar cierta abrasión debido al impacto de las partículas de sólidos en

suspensión sobre dichas superficies, lo cual puede causar desviaciones en los valores de medida.

El sistema de limpieza ultrasónico de las ventanas de medición, integrado actualmente en todos los sensores espectrales de WTW, evita la acumulación de suciedad de cualquier tipo de forma sutil pero muy efectiva debido a la disolución de cualquier tipo de partícula sólida en el agua. De esta manera se garantiza permanentemente una medición en línea muy confiable.

4.7.11 Medidas reales

La finalidad de un sensor espectrométrico suele ser el control en continuo de procesos de tratamientos de aguas residuales. A continuación se expone la evolución temporal de carga orgánica tomada en dos plantas de tratamiento de aguas.



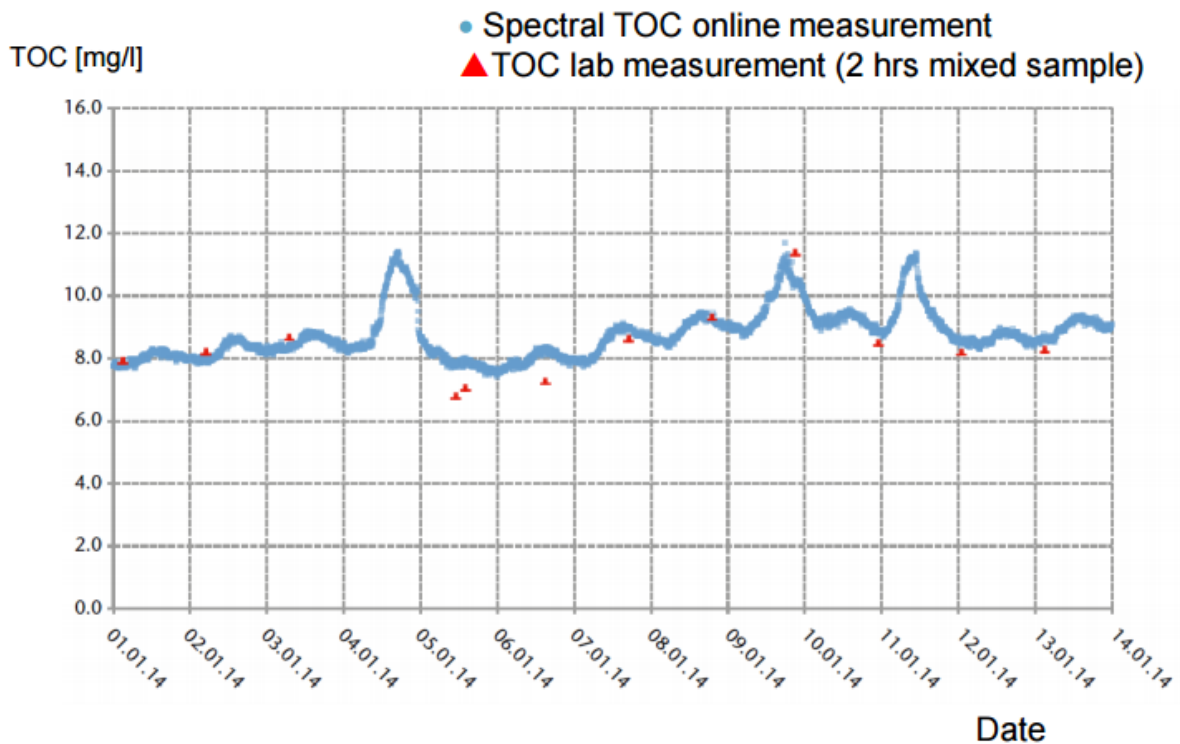
Detección de DQO a entrada y salida. Planta de tratamiento de aguas residuales de Salzgitter Nord, Alemania.

En esta primera gráfica se puede observar en color verde la progresión horaria de la carga orgánica a la entrada de la planta, y en color azul la de la carga orgánica a la salida. Podemos ver que los valores son mucho menores al haber pasado por el proceso de tratamiento. También se puede observar que en la entrada las medidas son más altas en las horas de la mañana, debido seguramente a la actividad de la industria local junto con el resto de la actividad urbana, así como se aprecian diferentes franjas horarias conforme a los ritmos de consumo y uso de los recursos hídricos.

También podemos afirmar que no sólo se han reducido los niveles de carga orgánica sino que se produce un suavizado de los mismos, debido al efecto de mezcla perfecta que se produce en el tanque de homogeneización de la planta. Este tanque se utiliza con el objetivo de

aminorar las variaciones de ciertas corrientes de aguas residuales (y por lo tanto reducir las variaciones de DQO), con el fin de conseguir una corriente mezclada para hacerla llegar a la planta de tratamiento con un caudal relativamente constante.

Además, se puede observar que los altos niveles de las horas de la mañana en la entrada empiezan a hacerse notar en la salida tiempo después (podría decirse que en torno a 12 horas más tarde). Esto se debe a los tiempos de residencia de los tanques de la planta de tratamiento.



Monitorización de Carbono Orgánico Total (COT) en efluente o salida. Planta de tratamiento de aguas residuales Regensburg, Alemania.

En esta segunda gráfica se representa la evolución continua del carbono orgánico total en la salida de la planta a lo largo de dos semanas, obtenidas mediante el sistema de espectroscopía in situ, junto a medidas discretas obtenidas en laboratorio y realizadas sobre la toma puntual de muestras.

Se puede decir que la exactitud del sensor UV-Vis es muy buena, acercándose notablemente a los valores hallados en laboratorio. Además, nos ofrece una información mucho más amplia e instantánea acerca de las variaciones de la carga orgánica del efluente, lo que permite automatizar su registro, análisis y la posible toma de decisiones sobre el proceso en tiempo real.

La utilización de este sistema de espectroscopía también permite obtener medidas de la carga orgánica en puntos del proceso que pudieran ser de difícil acceso, facilitando así el control del proceso.

5 Alternativas al sensor Carbovis de IQ Sensor Net

Existen en el mercado una serie de equipos industriales que permiten determinar parámetros del carbono orgánico presente en agua. Algunos realizan medidas sobre muestras de agua que deben ser extraídas puntualmente, pero los que nos interesan son los capaces de medir directamente en el agua, realizando mediciones de forma continua mediante análisis espectrométrico.

Los más relevantes son el *UVAS plus sc* (de la compañía Hach, anteriormente denominada Hach-Lange) y el *Spectro::lyser* (de la compañía S::CAN). Ambos trabajan sobre el coeficiente de absorción espectral, al igual que el CarboVis de WTW.

5.1 UVAS plus sc

Esta sonda digital de UV está diseñada para la medición de parámetros como la demanda química de oxígeno (DQO) o el carbono orgánico total (COT). Mide el coeficiente de absorción espectral de los fluidos a 254 nm, realizando una compensación de la turbidez mediante el uso de una longitud de onda adicional.

En cuanto a las características de fabricación y limpieza, podemos destacar que el cuerpo de la sonda está fabricado en acero inoxidable y que es autolimpiable mediante un sistema de rasqueta de limpieza que actúa sobre las lentes de medición.

5.2 Spectro::lyser

Esta sonda trabaja sobre el espectro completo ultravioleta-visible (UV-Vis), de la misma forma que lo hace CarboVis. Permite monitorizar de forma individual uno de los siguientes parámetros, entre otros: total sólidos en suspensión (TSS), turbidez, NO₃-N, DQO, DBO, COT, COD, UV254, color, BTX, O₃, HS⁻, temperatura o presión.

En cuanto a las características de fabricación y limpieza, podemos destacar que el cuerpo de la sonda también está fabricado en acero inoxidable y que es autolimpiable mediante un sistema de aire comprimido.

5.3 Comparativa

En primer lugar hay que decir que existen muy pocos datos comparativos entre distintos sensores espectrales, y los que hay están realizados en base a aguas sintéticas, que son preparadas para conseguir las composiciones deseadas. A continuación se muestra una comparativa en torno a los parámetros de tiempo de referencia, offset y límite de detección.

	CarboVis (WTW)	UVAS plus sc (Hach)	Spectro::lyser (S::CAN)
Tiempo de respuesta (min)	3	2	1
Offset [mg(O ₂)/L]	92	25	9
Límite de detección [mg(O ₂)/L]	0	12	11

En cuanto al tiempo de respuesta, el CarboVis no es el más rápido. La diferencia en el caso del UVAS plus sc podría explicarse en base a que es un sensor que realiza las medidas del coeficiente de absorción espectral en 2 longitudes de onda, mientras que CarboVis realiza un barrido UV-Vis. En cuanto a la diferencia con el Spectro::lyser, depende por un lado de los algoritmos empleados por cada uno de los sistemas, así como podría variar dependiendo de la composición y las concentraciones de las aguas estudiadas.

En lo referido al offset o desviación de cero, CarboVis alcanza el mayor valor de este tipo de error. Dada la poca cantidad de datos comparativos, es complicado indicar en qué medida afecta el offset a la precisión del sensor.

El límite de detección es la menor cantidad de un analito cuya señal puede ser distinguida de la del ruido. Es por tanto la concentración mínima que seríamos capaces de discriminar de la concentración obtenida a partir de la medida de un blanco (es decir, de una muestra sin

analito presente). En este caso CarboVis muestra una clara ventaja respecto a las dos alternativas, resultando de ello una mejor sensibilidad del sensor de WTW.

Respecto al material de fabricación, CarboVis está construido con carcasa de titanio, un metal muy resistente y ligero y que es menos sensible que el acero a cambios de temperatura o la abrasión química.

En lo que concierne a los sistemas de limpieza, el de UVAS plus sc sería el más rudimentario, consistiendo éste en una rasqueta que se desplaza sobre las ventanas de medición. Por otro lado, Spectro::lyser y CarboVis utilizan ambos un sistema de aire comprimido de características similares, aunque en la versión más actual CarboVis integra un sistema de limpieza por ultrasonido que puede complementarse con el sistema de aire comprimido.

6 Conclusiones

Una vez expuestos los fundamentos teóricos de este trabajo, las características del sistema IQ Sensor Net y toda la información necesaria para su instalación, calibración, uso y mantenimiento, así como realizada una comparativa con algunas de las alternativas existentes en el mercado, podemos extraer algunas conclusiones:

- La determinación en continuo de parámetros que nos permiten estudiar la carga orgánica en aguas aporta una gran representatividad de las medidas, al poder promediar un número considerable de ellas. También posibilita la realización de un seguimiento temporal de la evolución del parámetro observado.
- La precisión de las medidas realizadas por el sistema IQ Sensor Net es elevada, aportando una información altamente confiable sin la necesidad del envío de muestras a laboratorio.
- La alta sensibilidad que posee el sensor permite apreciar pequeñas variaciones de las propiedades del agua y hacer un seguimiento exhaustivo de su evolución.
- El uso de un sensor espectral para la determinación de materia orgánica en agua permite automatizar posibles acciones que llevar a cabo sobre el proceso, o lo que es lo mismo, permite automatizar labores de control del proceso.
- El uso de un sensor espectral hace posible la toma de decisiones en tiempo real, además de las que pudieran ser automatizadas.
- El uso de un sensor espectral permite analizar aguas en lugares de difícil acceso, posibilitando su instalación en puntos donde la toma de muestras para su análisis en laboratorio sería complicado.
- El análisis espectroscópico para el análisis de aguas residuales es un campo todavía pendiente de desarrollar, debido a que aún no hay normativa sobre su uso. La normativa actual para el análisis de materia orgánica hace referencia a métodos de laboratorio.

- El sistema IQ Sensor Net permitiría la adición de nuevos módulos y sensores al tratarse de un sistema modular, por lo que podría ampliarse el estudio de calidad de aguas a otros aspectos como el contenido en nitratos, la conductividad o el oxígeno disuelto, entre otros.
- El algoritmo del software que utiliza el sistema IQ Sensor Net para la determinación de materia orgánica en base a la medida del coeficiente de absorción espectral está basado en análisis multicriterio. Estos algoritmos son complejos conjuntos de operaciones que los fabricantes no muestran, y que son claramente un elemento diferenciador más allá de los aspectos físicos o de hardware. Este hermetismo dificulta la homogeneización y normalización de este tipo de métodos.
- Debido a la existencia de poca información comparativa entre diferentes equipos espectrométricos, sería conveniente realizar una comparativa más profunda basada en medidas de aguas residuales reales.

7 Bibliografía

- Catálogo de módulos y terminales de IQ Sensor Net de WTW. Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH, 2005.
- Catálogo de instrumentación en línea de WTW. Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH, 2005.
- Manual del sensor CarboVis de WTW. Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH, 2005.
- Echarri, Luis (2007). Apuntes de la asignatura: Población, ecología y ambiente. Tema 8: Contaminación del agua. Universidad de Navarra.
- Satué Capadocia, Noemí. Díaz Ara, Rafael Carmelo (mayo 2010). Determinación de la absorbancia UV en aguas potables de la provincia de Huesca. Revista Tecnología del Agua.
- Iglesias Díez, Javier (2010). Proyecto Fin de Carrera: Instalación en línea de sensores para el análisis de aguas residuales.
- UNE 77004:2002. “Calidad del agua. Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO). Método del dicromato”.